



FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA CON PULPA DE CAFÉ PARA PROTEGER
EQUIPOS ELECTRÓNICOS EN ENTIDADES PUBLICAS DE LA REGION SAN

MARTIN

Línea de investigación:
Sistemas eléctricos y electrónicos

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Autor

Chávez Lavi, Edy Nicolas

Asesor

Díaz Flores, Paul Alberto

ORCID: 0000-0002-9573-8563

Jurado

Solis Fonseca, Justo Pastor

Flores Masias, Edward José

Peña Carrillo, Cesar Serapio

Lima - Perú

2026

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA CON PULPA DE CAFÉ PARA PROTEGER EQUIPOS ELECTRÓNICOS EN ENTIDADES PUBLICAS DE LA REGION SAN MARTIN

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Wilo Chilingua, Pablo Robles. "Considerations in the design of electrical substations, including the effect of potential gradient on surrounding metallic structures", Ingenius, 2022 Publicación	<1%
2	Submitted to Universidad de Piura Trabajo del estudiante	<1%
3	repositorio.unam.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	<1%
6	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	contaminaciondelaplayadebuenosaires.blogspot.com Fuente de Internet	<1%
8	fr.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
9	fdocuments.es Fuente de Internet	<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN

VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INFORMÁTICA

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA CON PULPA DE CAFÉ PARA PROTEGER
EQUIPOS ELECTRÓNICOS EN ENTIDADES PUBLICAS DE LA REGION SAN

MARTIN

Línea de investigación:

Sistemas Eléctricos y Electrónicos

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Autor

Chávez Lavi, Edy Nicolas

Asesor

Díaz Flores, Paul Alberto

ORCID: 0000-0002-9573-8563

Jurado

Solis Fonseca, Justo Pastor

Flores Masias, Edward José

Peña Carrillo, Cesar Serapio

Lima – Perú

2026

Dedicatoria

A Dios, por su infinita bondad y por permitirme llegar hasta este momento de mi vida, guiando mis pasos con fe y fortaleza.

A mis padres, Charito y Edinson, quienes con amor, sacrificio y ejemplo han sido el pilar fundamental de mi formación personal y profesional. A mis hermanos, Mónica y Gustavo, por su apoyo constante, su confianza y la motivación que siempre me han brindado.

A mi familia en general, por creer en mí y acompañarme en cada etapa de este camino.

Dedico este logro a todos ellos, porque sin su presencia, esfuerzo y cariño, este sueño no se habría hecho realidad.

Agradecimiento

A mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional, tanto material como espiritual, que me permitió culminar esta meta académica.

A mi asesor, Mg. Paul Alberto Díaz Flores, y a mis docentes universitarios, quienes con su orientación, conocimientos y consejos contribuyeron al desarrollo de esta investigación y a mi crecimiento profesional.

A las entidades públicas que facilitaron sus instalaciones para la ejecución del presente estudio, sin cuya colaboración no hubiera sido posible llevar a cabo la parte práctica de la investigación.

Finalmente, a mis amigos y compañeros de estudio, por su apoyo, aliento y por compartir conmigo esta etapa de formación universitaria

ÍNDICE

Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción y formulación del problema	1
<i>1.1.1. Problema general</i>	2
<i>1.1.2. Problemas específicos</i>	2
1.2. Antecedentes	2
<i>1.2.1. Antecedentes internacionales</i>	2
<i>1.2.2. Antecedentes Nacionales</i>	3
1.3. Objetivos	4
<i>1.3.1. Objetivo General</i>	4
<i>1.3.2. Objetivos Específicos</i>	4
1.4. Justificación.....	5
1.5. Hipótesis.....	6
<i>1.5.1. General</i>	6
<i>1.5.2. Específicas</i>	6
II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	8
<i>2.1.1. Sistema de puesta a tierra</i>	8
<i>2.1.2. Clasificación de las puestas a tierra</i>	10
<i>2.1.3. Componentes de un sistema de puesta a tierra</i>	13
<i>2.1.4. Productos químicos en un sistema de puesta a tierra</i>	19
<i>2.1.5. Resistividad eléctrica</i>	23

2.1.6. Resistividad del terreno.....	23
2.1.7. Métodos de la resistividad	24
2.1.8. Fórmulas de la resistividad.....	26
2.1.9. Marco conceptual.....	29
2.1.10. Legalidades de los pozos a tierra	30
2.1.11. Creación de un pozo a tierra	31
2.1.12. Pulpa de café.....	32
2.1.13. Impulso gaussiano en simulaciones eléctricas transitorias.....	34
III. MÉTODO	35
3.1. Tipo de investigación	35
3.2. Ámbito temporal y espacial	36
3.3. Variables	37
3.4. Población y muestra	39
3.4.1. Población	39
3.4.2. Muestra	39
3.5. Instrumentos.....	41
3.6. Procedimientos.....	85
3.7. Método de Análisis de Datos	86
3.7.1 Análisis eléctrico de resistividad del terreno.....	86
3.7.2. Direcciones de medición	87
3.7.3 Análisis transitorio del sistema de puesta a tierra.....	92
3.7.4 Pruebas estadísticas.....	95
3.8. Consideraciones éticas	95
IV. RESULTADOS	96
4.1. Resultados obtenidos.....	96

4.2. Contraste de hipótesis	104
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	109
5.1. Discusión sobre la eficacia del sistema	109
5.2. Discusión sobre la eficiencia del sistema	109
5.3. Discusión comparativa de materiales	110
5.4. Análisis Costo Beneficio	111
5.4.1. <i>Costos de Implementación</i>	112
5.4.2. <i>Descripción del beneficio económico</i>	112
5.4.3. <i>Cálculo del índice Costo- Beneficio (ICB)</i>	113
5.4.4. <i>Interpretación de los resultados</i>	113
VI. CONCLUSIONES	115
VII. RECOMENDACIONES	117
VIII. REFERENCIAS	119
IX. ANEXOS	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resistividad del terreno según naturaleza.....	21
Tabla 2 Operacionalización de las variables.....	38
Tabla 3 Ficha técnica del instrumento	42
Tabla 4 Resumen de Pozos de Puesta a Tierra Evaluados.....	44
Tabla 5 Registro Inicial P-01 - Moyobamba.....	50
Tabla 6 Registro final P-01 – Moyobamba.....	53
Tabla 7 Registro inicial P-02 – Moyobamba	54
Tabla 8 Registro final de resistencia del pozo P-02 – Moyobamba	57
Tabla 9 Registro inicial de resistencia del pozo P-03 – Moyobamba.....	58
Tabla 10 Registro Final P-03 - Moyobamba.....	60
Tabla 11 Registro inicial P-04 – Moyobamba	61
Tabla 12 Registro Final P-04 - Moyobamba.....	63
Tabla 13 Registro inicial P-05 – Moyobamba	64
Tabla 14 Registro Final P-05	66
Tabla 15 Registro Inicial P-06 - Moyobamba.....	67
Tabla 16 Registro Final P-06 - Moyobamba.....	69
Tabla 17 Registro inicial resistencia P-07 - Moyobamba.....	70
Tabla 18 Registro Final P-07 - Moyobamba.....	72
Tabla 19 Registro de medición inicial resistencia P-08 - Moyobamba	73
Tabla 20 Registro Final P-08 – Moyobamba.....	75
Tabla 21 Pozos de Nueva Cajamarca – SUNARP	77
Tabla 22 Pozos de Rioja – EsSalud	78
Tabla 23 Resultados de resistencia en pozos de Tarapoto – Corte Superior de Justicia	79
Tabla 24 Pozos de Lamas – EsSalud	80

Tabla 25 Pozos de Juanjuí – SUNARP.....	80
Tabla 26 Resultados de resistencia en pozos de Yurimaguas – EsSalud.....	81
Tabla 27 Pozos de Tocache - SUNARP	82
Tabla 28 Pozos de Bellavista - EsSalud.....	83
Tabla 29 Pozos de Picota – Poder Judicial	84
Tabla 30 Pozos de Uchiza - SUNARP.....	84
Tabla 31 Resistencia eléctrica y resistividad del suelo	88
Tabla 32 Resistividad del suelo en nueve puntos - Moyobamba.....	89
Tabla 33 Clasificación de fallas electrónicas según su relación con el sistema	96
Tabla 34 Caracterización de equipos electrónicos por entidad y área funcional	97
Tabla 35 Tabla Consolidada por Ciudad – Protección de Equipos Electrónicos	98
Tabla 36 Resistencia promedio, mínima, máxima registrada y condición operativa	100
Tabla 37 Total, de pozos a tierra.....	101
Tabla 38 Valores de fallas por ciudad.....	101
Tabla 39 Resistencia final de los equipos electrónicos.....	103
Tabla 40 Nivel de satisfacción del usuario final de equipos electrónicos	104
Tabla 41 Prueba de Shapiro-Wilk para análisis de la normalidad de los datos obtenidos.....	105
Tabla 42 Prueba t de Student pareada para valores de resistencia antes y despues.....	106
Tabla 43 Prueba de Wilcoxon para número de fallas antes y después	106
Tabla 44 Prueba t de Student pareada para valores de costo antes y después	107
Tabla 45 Prueba t de Student pareada para valores de satisfacción.....	108
Tabla 46 Comparación de materiales.....	110
Tabla 47 Cálculo de ahorro anual	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Diseño de pozo a tierra	9
Figura 2	Esquema de distribución TT.....	10
Figura 3	Esquema de distribución IT.....	11
Figura 4	Diseño de puntos múltiples	13
Figura 5	Electrodo de tierra	15
Figura 6	Conector AB.....	17
Figura 7	Telurómetro	18
Figura 8	Resistividad	23
Figura 9	Representación del método de Schlumberger	25
Figura 10	Método de Wenner	26
Figura 11	Excavación y aplicación de pulpa de café en el pozo a tierra (Moyobamba)	46
Figura 12	Retiro Tapa De Registro.....	47
Figura 13	Retiro de borneras.....	47
Figura 14	Colocación De Electrodo.....	48
Figura 15	Conexión del telurómetro Megabras MTD20	49
Figura 16	Medición inicial de resistencia en el pozo P-01 – Moyobamba.....	49
Figura 17	Excavación del sistema de puesta a tierra	50
Figura 18	Implementación de pulpa de café fresca	51
Figura 19	Preparación de la mezcla de sal industrial.....	52
Figura 20	Vertido de la mezcla de sal industrial.....	52
Figura 21	Medición final de resistencia en el pozo P-01 – Moyobamba.....	53
Figura 22	Medición inicial de resistencia en el pozo P-02 – Moyobamba.....	54
Figura 23	Implementación de pulpa de café semifresca en el pozo P-02 – Moyobamba.....	55
Figura 24	Vertido de la mezcla de sal industrial en el pozo P-02 – Moyobamba	56

Figura 25	Medición final de resistencia en el pozo P-02 – Moyobamba.....	56
Figura 26	Medición inicial de resistencia del pozo P-03 – Moyobamba.....	57
Figura 27	Implementación de pulpa de café seca en el pozo P-03 – Moyobamba.....	58
Figura 28	Vertido de la mezcla de sal industrial en el pozo P-03 – Moyobamba	59
Figura 29	Medición final de la resistencia en el pozo P-03 – Moyobamba.....	60
Figura 30	Medición inicial de la resistencia en el pozo P-04 – Moyobamba	61
Figura 31	Implementación pulpa de café fresca y semi fresca	61
Figura 32	Vertido de la mezcla de sal industrial en el pozo P-04 – Moyobamba	62
Figura 33	Medición final de la resistencia en el pozo P-04 – Moyobamba.....	63
Figura 34	Medición inicial de la resistencia en el pozo P-05 – Moyobamba	64
Figura 35	Implementación de pulpa fresca y seca en el pozo P-05 – Moyobamba.....	65
Figura 36	Vertido de mezcla de sal industrial en el pozo P-05 – Moyobamba	65
Figura 37	Medición final de resistencia en el pozo P-05 – Moyobamba.....	66
Figura 38	Medición inicial de resistencia en el pozo P-06 – Moyobamba.....	67
Figura 39	Implementación de pulpa de café semi fresca y seca en el pozo P-06	68
Figura 40	Vertido de mezcla de sal industrial en el pozo P-06 – Moyobamba	68
Figura 41	Medición final resistencia P-06 – Moyobamba.....	69
Figura 42	Medición Inicial Resistencia P-07 – Moyobamba.....	70
Figura 43	Implementación de Thor Gel en el pozo P-07 – Moyobamba.....	71
Figura 44	Vertido de la mezcla de Thor Gel en el pozo P-07 – Moyobamba	71
Figura 45	Medición final de la resistencia eléctrica en el pozo P-07 – Moyobamba	72
Figura 46	Medición inicial de resistencia P-08 – Moyobamba	73
Figura 47	Implementación de cemento conductivo – P-08 Moyobamba	74
Figura 48	Vertido de mezcla de cemento conductivo – P-08 Moyobamba.....	74
Figura 49	Medición final de la resistencia del sistema P-08 – Moyobamba	75

Figura 50	Porcentaje de reducción de resistencia en los pozos a tierra.	76
Figura 51	Conexión de los cuatro electrodos al telurómetro - Moyobamba.....	87
Figura 52	Medición utilizando el método de Werner – Moyobamba.....	87
Figura 53	Script en Matlab para simulación 3D de la resistividad del suelo.....	89
Figura 54	Mapa de calor Resistividad del suelo	90
Figura 55	Superficie 3D de la resistividad del suelo	91
Figura 56	Respuesta transitoria en un circuito RLC	92
Figura 57	Respuesta transitoria.....	93
Figura 58	Respuesta de voltaje	94
Figura 59	Respuesta de la corriente	94
Figura 60	Resistencia eléctrica antes y después de la implementación del sistema	99
Figura 61	Reducción de fallas por implementación del sistema.....	102
Figura 62	Tasa de reducción de fallas en equipos electrónicos	102

Resumen

El presente estudio evaluó la efectividad de los sistemas de puesta a tierra implementados con pulpa de café en entidades públicas de la región San Martín, con el propósito de fortalecer la protección de equipos electrónicos que presentaban deficiencias en sus instalaciones, tales como alta impedancia, elevada resistencia eléctrica, elevada resistividad del suelo y procesos de corrosión en los materiales conductores. La investigación se llevó a cabo en instituciones como la Corte Superior de Justicia, el Seguro Social de Salud (EsSalud) y la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP), distribuidas en once ciudades de la región. En total, se instalaron 38 pozos de puesta a tierra empleando pulpa de café en tres condiciones (fresca, semiseca y seca), y se efectuaron mediciones con telurómetro digital antes y después de la intervención. Los resultados mostraron una reducción promedio del 75,31 % tanto en la resistencia del sistema como en las fallas electrónicas reportadas, lo que confirma que la pulpa de café mejora la conductividad del terreno y estabiliza el desempeño eléctrico. Asimismo, al compararse con materiales comerciales como Thor Gel y cemento conductivo, se evidenció que la pulpa de café constituye una alternativa técnica y económica de gran viabilidad. Como complemento, se realizaron simulaciones en MATLAB, modelando la variación de la resistividad del suelo mediante una cuadrícula 3x3 y analizando la respuesta transitoria del sistema a partir de un circuito equivalente RLC.

Palabras clave: puesta a tierra, resistencia eléctrica, pulpa de café, conductividad del suelo, sostenibilidad

Abstract

This study evaluated the effectiveness of grounding systems implemented with coffee pulp in public entities in the San Martín region. The goal was to strengthen the protection of electronic equipment that presented deficiencies in their installations, such as high impedance, high electrical resistance, high soil resistivity, and corrosion processes in conductive materials. The research was conducted in institutions such as the Superior Court of Justice, the Social Health Security Institute (EsSalud), and the National Superintendence of Public Registries (SUNARP), distributed across eleven cities in the region. A total of 38 grounding wells were installed using coffee pulp in three conditions (fresh, semi-dry, and dry), and measurements were taken with a digital earth ground meter before and after the intervention. The results showed an average reduction of 75.31% in both system resistance and reported electronic faults, confirming that coffee pulp improves soil conductivity and stabilizes electrical performance. Furthermore, when compared with commercial materials such as Thor Gel and conductive cement, coffee pulp was shown to be a highly viable technical and economic alternative. Additionally, simulations were performed in MATLAB, modeling the variation in soil resistivity using a 3x3 grid and analyzing the system's transient response using an RLC equivalent circuit.

Keywords: grounding, electrical resistance, coffee pulp, soil conductivity, sustainability.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción y formulación del problema

Hoy en día, la electricidad y los sistemas electrónicos son parte indispensable del funcionamiento de cualquier institución. Sin ellos, muchos servicios simplemente se detienen. Por eso, contar con confiables infraestructuras no puede verse como un lujo: sino que es una real necesidad, sobre todo en entidades públicas que atienden cada día a miles de ciudadanos. En ese escenario, los sistemas de puesta a tierra cumplen un propósito decisivo al proteger tanto los equipos electrónicos como también a las personas ante eventuales fallas eléctricas.

Varias entidades públicas en la región San Martín, presentan deficiencias serias en sus sistemas de puesta a tierra. Los son claros síntomas, las resistencias eléctricas demasiado elevadas, impedancias altas, materiales que están corroídos y fallas que se repiten con una periodicidad que ya no puede ser ignorado. Afecta todo esto la operatividad de las instituciones y produce gastos que, a lo largo del tiempo, resultan muy dificultosos de sostener.

Ante ese panorama, resultaba ineludible buscar alternativas que fueran a la vez sólidas técnicamente y accesibles económicamente. Fue así como nació la idea de aprovechar la pulpa de café, un residuo agrícola muy copioso en la zona, como material conductor para optimar la conductividad del terreno y reducir la resistencia de los pozos a tierra.

Para verificar su efectividad, esta investigación evaluó el comportamiento de la pulpa de café en pozos de puesta a tierra instalados en once ciudades de la región San Martín. Además, se comparó su desempeño con el de materiales comerciales como el Thor Gel y el cemento conductor, lo que permitió tener una referencia clara sobre su viabilidad técnica y económica.

Los hallazgos de este trabajo aportan información concreta y respaldada por datos reales sobre una alternativa que merece atención. Fortalecer los sistemas eléctricos de las instituciones

públicas de la región es, al final, proteger también la calidad del servicio que reciben sus usuarios.

Frente a la realidad planteada, se hace presente el problema de investigación.

1.1.1. Problema general

¿En qué medida el sistema de puesta a tierra usando pulpa de café influye en la eficacia y la eficiencia de la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023?

1.1.2. Problemas específicos

¿En qué medida el sistema de puesta a tierra usando pulpa de café influye en la eficacia de la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023?

¿En qué medida el sistema de puesta a tierra usando pulpa de café influye en la eficiencia de la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023?

¿Cuál es el nivel de satisfacción del sistema de puesta a tierra con pulpa de café en comparación con los materiales tradicionales para la protección de equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes internacionales

Álvarez y Muñoz (2024), en su investigación titulada “Evaluación de la efectividad del sistema de puesta a tierra en el Bloque E de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil”, evaluaron la efectividad del sistema de puesta a tierra de dicha institución.

El objetivo fue verificar el cumplimiento del sistema respecto a los estándares de seguridad eléctrica establecidos en la norma IEEE Std 80-2013. Los resultados mostraron que la resistencia del sistema se encontraba dentro de los márgenes seguros. Se aplicó el método

de Wenner para calcular la resistividad del terreno y se realizaron simulaciones en el software ETAP, las cuales corroboraron la efectividad del sistema instalado. De la investigación se concluye que el sistema de puesta a tierra del Bloque E cumple con los requisitos de seguridad eléctrica, garantizando la protección de equipos y personas. Asimismo, se recomienda implementar un plan de mantenimiento periódico para asegurar la continuidad de su desempeño.

Basante-Gualpa (2019), en su investigación titulada “Análisis de modelos de sistemas de puesta a tierra para diferentes electrodos y condiciones de suelos”, analizó cómo las propiedades del terreno (resistencia, resistividad, humedad y composición) influyen en el rendimiento de los sistemas de puesta a tierra. El objetivo fue diseñar un sistema de puesta a tierra adaptable a distintos tipos de suelo, aplicando un programa basado en la norma IEEE Std 80-2013. Como resultado, se determinó que la optimización del sistema, junto con la selección estratégica de materiales y configuraciones de electrodos, permitió reducir significativamente los valores de resistencia, manteniéndolos dentro de los límites establecidos por la normativa. La conclusión principal indica que un diseño adecuado, complementado con la elección de materiales apropiados, mejora de manera considerable la seguridad de los sistemas de puesta a tierra incluso en condiciones de suelos desfavorables.

1.2.2. Antecedentes nacionales

López (2022), en su investigación titulada “Diseño del Sistema de Puesta a Tierra en los Varaderos del SIMA-Iquitos para Complementar la Protección Eléctrica de Pararrayos Tradicionales”, analizó la vulnerabilidad de estas instalaciones frente a descargas atmosféricas debido a la ausencia de un sistema de puesta a tierra eficiente. El objetivo fue diseñar un sistema de puesta a tierra para los varaderos del SIMA-Iquitos que trabaje de manera conjunta con los pararrayos, con el fin de maximizar la protección contra descargas eléctricas. Los resultados mostraron una reducción significativa en la resistividad del suelo y una mejora en la eficiencia

de protección contra descargas en la zona industrial. Se concluye que la implementación de un sistema de puesta a tierra adecuado fortalece la efectividad de los pararrayos en entornos industriales expuestos, incrementa la protección frente a descargas eléctricas y minimiza el riesgo de daños en las infraestructuras.

Lozano (2020), en su investigación titulada “Optimización del Diseño de Puestas a Tierra utilizando Elementos Finitos en la Subestación Constitución”, estudió el comportamiento de las mallas de puesta a tierra en subestaciones de alta tensión, las cuales deben reducir los voltajes de paso y contacto peligrosos. El objetivo fue optimizar el diseño de la malla de puesta a tierra mediante el método de elementos finitos, con el fin de mejorar la protección en la Subestación Constitución y garantizar el cumplimiento de la norma IEEE Std 80. Los resultados evidenciaron una reducción significativa en los niveles de voltaje de paso y contacto en la malla, lo que permitió incrementar la seguridad del sistema y asegurar el cumplimiento de los estándares vigentes. Se concluye que la aplicación del método de elementos finitos resulta eficaz para el diseño y optimización de sistemas de puesta a tierra en subestaciones, ya que reduce los riesgos de electrocución del personal en instalaciones de alta tensión.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Medir la influencia del sistema de puesta a tierra usando pulpa de café en la eficacia y la eficiencia de la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

1.3.2. Objetivos específicos

- Medir el efecto del sistema de puesta a tierra usando pulpa de café en la eficacia de la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín.

- Medir el efecto del sistema de puesta a tierra usando pulpa de café en la eficiencia de la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.
- Determinar el nivel de satisfacción del sistema de puesta a tierra con pulpa de café frente a los materiales tradicionales en la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

1.4. Justificación

Que los equipos electrónicos de las entidades públicas funcionen sin interrupciones no es un detalle menor: de ello depende que los ciudadanos reciban una atención oportuna y de calidad. Cuando un equipo falla, las consecuencias van desde la pérdida de información hasta la paralización del servicio, pasando por gastos de mantenimiento que muchas veces las instituciones no tienen previsto asumir. Gran parte de esas fallas se origina en sistemas de puesta a tierra deficientes, que exponen los equipos a descargas eléctricas, sobretensiones y otros riesgos que bien podrían evitarse.

Los materiales que se usan habitualmente para este tipo de instalaciones, como el Thor Gel y el cemento conductor, no siempre resultan la mejor opción. Su durabilidad es limitada y su costo puede dificultar que se implementen en más lugares. Por eso, encontrar una alternativa que sea más accesible, igualmente eficaz y menos contaminante se vuelve algo urgente y necesario.

La situación en la región San Martín es bastante ilustrativa de lo que ocurre en muchos lugares del país. Varias sedes de entidades públicas muestran sistemas de puesta a tierra con resistencias elevadas, suelos poco conductivos y materiales corroidos que no hacen más que agravar el problema. Fue precisamente esa realidad la que llevó a plantearse el uso de la pulpa de café, un residuo que la propia región produce en grandes cantidades, como una posible

solución para mejorar la conductividad del terreno y estabilizar el funcionamiento eléctrico del sistema.

La presente investigación busca evaluar la efectividad de la pulpa de café para reducir la resistencia eléctrica y las fallas en equipos electrónicos, comparando su desempeño con materiales comerciales convencionales. Además, se realizan modelos y simulaciones en software especializado, a fin de generar evidencia científica que pueda replicarse en otras regiones con características similares.

Lo que esta investigación aporta va más allá de los números. Ofrece conocimiento aplicado que la ingeniería electrónica puede usar para proponer soluciones reales, accesibles y sostenibles en entidades públicas que necesitan proteger sus equipos sin comprometer sus recursos.

1.5. Hipótesis

1.5.1. General

Hi (Hipótesis de investigación)

El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café mejora la eficacia y la eficiencia de la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

Ho (Hipótesis Nula)

El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café no mejora la eficacia ni la eficiencia de la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

1.5.2. Específicas

H1: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café mejora la eficacia, medida a través de la reducción del número de fallas electrónicas, en los equipos electrónicos de las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

H0₁: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café no mejora la eficacia, medida a través de la reducción del número de fallas electrónicas, en los equipos electrónicos de las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

H2: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café mejora la eficiencia, medida a través de la disminución de los costos de reparación y mantenimiento, de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

H0₂: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café no mejora la eficiencia, medida a través de la disminución de los costos de reparación y mantenimiento, de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

H3: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café mejora el nivel de satisfacción del usuario, medido mediante encuesta, respecto a la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

H0₃: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café no mejora el nivel de satisfacción del usuario, medido mediante encuesta, respecto a la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. *Sistema de puesta a tierra*

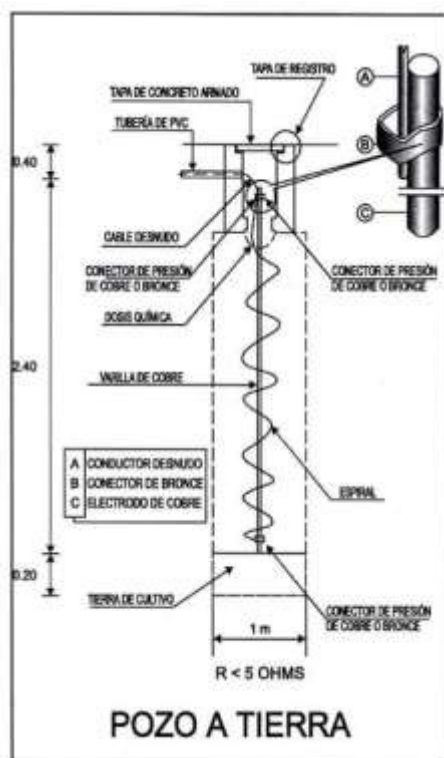
Un sistema de puesta a tierra (SPT) es el conjunto de dispositivos y elementos conectados eléctricamente al terreno, diseñado para proteger tanto a las personas como a las instalaciones de los efectos nocivos de las descargas eléctricas. Su función principal es garantizar una adecuada conductividad entre los componentes eléctricos y la tierra, evitando la acumulación de cargas peligrosas que puedan ocasionar daños o accidentes.

De acuerdo con el National Electrical Code – NEC (2023), un sistema de puesta a tierra constituye la conexión física de los componentes eléctricos a la tierra, con el propósito de establecer un potencial eléctrico cero y proporcionar una ruta segura para las corrientes de falla.

En la misma línea, el IEEE Std 80 (2013) señala que un SPT se compone de electrodos que vinculan los equipos eléctricos con la tierra, con el fin de mantener un potencial seguro y minimizar las diferencias de voltaje entre partes metálicas expuestas y el suelo.

Asimismo, la National Fire Protection Association – NFPA (2021) lo describe como un sistema de seguridad eléctrica que establece una conexión de baja resistencia entre los componentes eléctricos y la tierra, de modo que cualquier corriente residual peligrosa pueda disiparse de manera segura.

Por su parte, la IEEE Std 3003.1 (2019) define un sistema de puesta a tierra como aquel que conecta componentes eléctricos al suelo para proporcionar seguridad y funcionalidad, reduciendo las diferencias de potencial eléctrico en una instalación. (véase Figura 1).

Figura 1*Diseño de pozo a tierra*

Nota. Esquema del diseño de un pozo a tierra mostrando la disposición de materiales conductores, sistema de electrodos y componentes para garantizar una baja resistencia eléctrica (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2014).

La implementación de un sistema de puesta a tierra persigue varios objetivos fundamentales, entre los que destacan:

- Proteger a las personas de descargas eléctricas: constituye uno de los métodos más eficaces para evitar electrocuciones. (NEC, 2023; IEC 60364).
- Proteger los equipos y las instalaciones: permite la disipación de corrientes de fuga y sobretensiones que afectan el funcionamiento de los sistemas eléctricos. (NEC, 2023).
- Mejorar la calidad de la señal eléctrica: contribuye a reducir el ruido y las interferencias electromagnéticas que afectan equipos sensibles. (NESC, 2023).

- Cumplir con normas y regulaciones: la puesta a tierra es un requisito obligatorio en la mayoría de marcos normativos, asegurando seguridad y confiabilidad en las instalaciones. (NESC, 2023).
- Proteger contra descargas atmosféricas: establece un camino de baja resistencia para la corriente de rayo, minimizando los riesgos. (NEC, 2023).

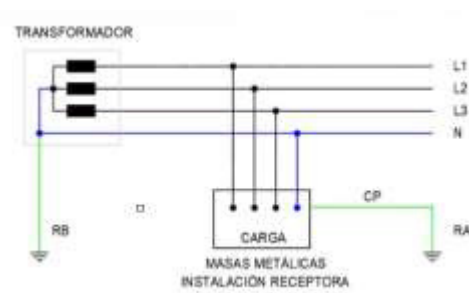
2.1.2. Clasificación de las puestas a tierra

2.1.2.1. Según tipo de conexión. Las puestas a tierra pueden clasificarse de diferentes formas; una de ellas es según el tipo de conexión, en la cual se distinguen tres modelos principales. De acuerdo con López y Mora (2019), estos se agrupan en las configuraciones TT, TN e IT:

Puesta a tierra TT: En este sistema, el equipo eléctrico se conecta a una toma de tierra local, que a su vez está vinculada con la tierra general. Se emplea principalmente en instalaciones de baja tensión y ofrece un alto nivel de seguridad frente a descargas eléctricas (véase Figura 2).

Figura 2

Esquema de distribución TT



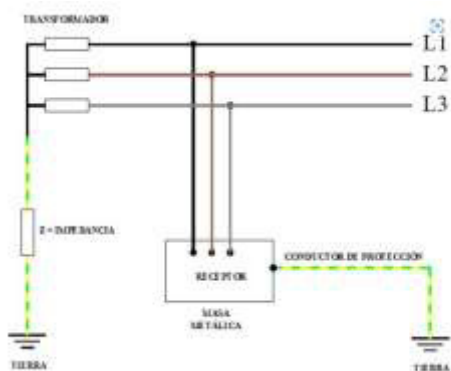
Nota. Esquema de un sistema de distribución TT, donde el neutro del transformador está conectado a tierra y los equipos del usuario cuentan con su propio sistema de puesta a tierra para garantizar protección (Martínez, 2014).

Puesta a tierra TN: En este caso, el equipo eléctrico se conecta directamente a tierra mediante un conductor de protección. Es común en sistemas de baja y media tensión, garantizando una ruta de descarga eficiente para las corrientes de falla.

Puesta a tierra IT: Este sistema se caracteriza porque la fuente de alimentación se conecta a un punto de tierra aislado, lo que reduce el riesgo de cortocircuitos a tierra. Se utiliza en sistemas de alta tensión y en instalaciones críticas, como hospitales y centros de datos, donde la continuidad del servicio es esencial (véase Figura 3).

Figura 3

Esquema de distribución IT



Nota. Sistema de distribución eléctrica en el cual el punto neutro no está conectado directamente a tierra y las masas de los equipos están conectadas a tierra (García, 2019).

2.1.2.2. Según su aplicación. Existen distintos tipos de puesta a tierra, diseñados para cumplir funciones específicas dentro de los sistemas eléctricos y de telecomunicaciones. De acuerdo con las normas internacionales (IEEE Std 80, 2023; ANSI, 2023), se distinguen los siguientes:

A. Puesta a tierra de protección. Se emplea para salvaguardar a las personas y equipos eléctricos frente a sobretensiones y corrientes de fuga. Consiste en conectar a tierra las partes metálicas de los equipos y estructuras eléctricas expuestas. La IEEE Std 80 (2023) establece que la resistencia de esta puesta a tierra debe ser menor a 25 ohmios, a fin de garantizar una protección adecuada.

B. Puesta a tierra de señalización. Se utiliza en sistemas de telecomunicaciones, tales como radiocomunicaciones y televisión por cable. Su objetivo es proporcionar una referencia común para las señales transmitidas, reduciendo el riesgo de interferencias y distorsiones. De acuerdo con la norma ANSI (2023), la impedancia de esta puesta a tierra debe ser inferior a 5 ohmios.

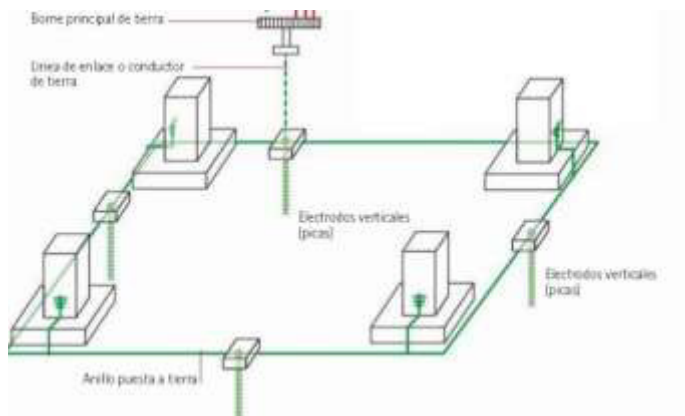
C. Puesta a tierra de servicio. Se aplica en sistemas de distribución de energía eléctrica de alta tensión, con el fin de garantizar la seguridad y continuidad del suministro hacia los usuarios. Se implementa mediante la conexión a tierra de transformadores y cables de alimentación. Según la IEEE Std 80 (2023), esta puesta a tierra debe presentar una resistencia menor a 1 ohmio, lo que asegura el correcto funcionamiento del sistema.

2.1.2.3. Según su diseño. De acuerdo con López y Mora (2019), las puestas a tierra también pueden clasificarse según su diseño, el cual varía en función de la disposición y conexión de los componentes utilizados. Los principales modelos son los siguientes:

A. Puesta a tierra de anillo. En este diseño, los equipos eléctricos se conectan a un anillo conductor que rodea el área protegida. Esta configuración permite establecer una trayectoria de corriente de falla en forma de bucle, asegurando una mayor cobertura de protección en la zona.

B. Puesta a tierra en estrella. Se caracteriza por conectar los equipos eléctricos a un punto central de conexión a tierra, desde el cual se distribuyen las trayectorias de corriente de falla en forma radial, semejando una estrella. Este modelo facilita la centralización del control y la disipación de corrientes.

C. Puesta a tierra de múltiples puntos. Consiste en emplear varios puntos de conexión a tierra distribuidos en la zona protegida. Esta disposición ofrece múltiples trayectorias de corriente de falla, lo que mejora la redundancia y la confiabilidad del sistema (ver Figura 4).

Figura 4*Diseño de puntos múltiples*

Nota. Se establecen múltiples conexiones distribuidas de manera estratégica, con el propósito de mejorar la conductividad, disminuir la resistencia y garantizar una protección adecuada (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2014).

2.1.3. Componentes de un sistema de puesta a tierra

De acuerdo con la NEC (2023), los componentes de un sistema de puesta a tierra pueden variar según su diseño y aplicación. No obstante, existen elementos esenciales que se consideran comunes en la mayoría de los sistemas:

A. Electrodo de tierra. Es el componente principal del sistema, encargado de establecer la conexión eléctrica entre la instalación y la tierra. El electrodo puede presentarse en diferentes formas, tales como varillas, conductores enterrados o anillos, en función de las condiciones del terreno y del diseño implementado.

B. Conductor de puesta a tierra. Constituye el medio de enlace entre los equipos eléctricos y el electrodo de tierra, proporcionando una trayectoria segura y confiable para la disipación de corrientes de falla.

C. Juntas y conexiones. Son los dispositivos de unión empleados para interconectar los conductores de puesta a tierra y los electrodos. Su función es asegurar una conexión eléctrica sólida, estable y duradera, minimizando pérdidas por resistencia de contacto.

D. Sistema de medición y monitoreo. Comprende los equipos e instrumentos destinados a medir la resistencia del sistema de puesta a tierra y a supervisar la presencia de corrientes de fuga o voltajes peligrosos. Este componente es indispensable para verificar periódicamente la efectividad y seguridad del sistema.

2.1.3.1. Electrodo de tierra. Un electrodo de tierra es un elemento conductor utilizado para establecer la conexión eléctrica entre un sistema eléctrico y el terreno, con el fin de disipar de manera segura y eficiente cualquier corriente de falla. La selección del electrodo depende de factores como la resistividad del suelo, las condiciones ambientales, el clima, la magnitud de la corriente de falla esperada, entre otros aspectos específicos del sitio de instalación.

Si bien las características de los electrodos son similares, su eficacia varía según el lugar de colocación. Diversos autores y normativas han planteado definiciones complementarias:

De acuerdo con el NEC (2023), el electrodo de tierra constituye el componente principal del sistema de puesta a tierra y es el responsable de establecer la conexión eléctrica con la tierra. Se recomienda seleccionar un electrodo con baja resistencia y capaz de soportar la corriente de falla prevista.

Por su parte, López y Mora (2019) señalan que los electrodos pueden fabricarse en distintos materiales, como cobre, acero galvanizado, aluminio y otros metales, debiendo elegirse el más adecuado según la resistividad del suelo y las condiciones ambientales. Asimismo, destacan la importancia de garantizar una adecuada conexión entre el electrodo y el conductor de puesta a tierra.

En cuanto a las normativas internacionales, la IEC 62305-3 (2021) enfatiza que la longitud del electrodo es un factor determinante. Se recomienda que tenga, como mínimo, 2 metros de longitud, y que se instalen electrodos adicionales si es necesario para alcanzar la resistencia requerida en función de la resistividad del terreno y la corriente de falla esperada.

En la Figura 5 se muestra un ejemplo de electrodo de tierra, el cual establece la conexión física con el suelo y permite la disipación segura de corrientes eléctricas no deseadas, como descargas atmosféricas o fallas en el sistema.

Figura 5

Electrodo de tierra



Nota. Para-rayos,202. El electrodo establece la conexión física con el suelo, permitiendo la disipación segura de corrientes eléctricas no deseadas, como descargas de rayos o fallas eléctricas.

2.1.3.2. Conductor de puesta a tierra. El conductor de puesta a tierra es el elemento encargado de establecer una conexión eléctrica segura y directa entre un sistema eléctrico y el terreno, con el objetivo de proteger tanto a los equipos como a las personas frente a descargas eléctricas o acumulación de cargas.

Según el National Electrical Code – NEC (2023), este tipo de conductor constituye el medio físico que permite enlazar los sistemas y equipos eléctricos con la tierra, garantizando la disipación de corrientes de falla.

En la misma línea, la IEEE (2023) resalta la importancia de que los conductores de puesta a tierra sean diseñados con la capacidad suficiente para manejar la corriente de falla esperada, asegurando además una baja resistencia eléctrica que contribuya a la estabilidad del sistema.

Finalmente, el Diccionario de la Real Academia Española (RAE, 2023) define al conductor de puesta a tierra como un elemento metálico que conecta un circuito eléctrico con el terreno, evitando la acumulación de cargas electrostáticas y proporcionando seguridad a las instalaciones y a las personas.

2.1.3.3. Juntas y conexiones. Las juntas y conexiones constituyen elementos fundamentales en un sistema de puesta a tierra, ya que permiten establecer una unión segura y eficiente entre los diferentes componentes que lo integran, tales como conductores, varillas y electrodos.

De acuerdo con Gutiérrez (2018), las juntas son puntos de unión entre dos o más conductores o elementos conductores, cuya función principal es garantizar una transmisión de corriente eléctrica óptima y libre de fallas. Para ello, deben diseñarse y construirse de forma adecuada, de tal manera que consigan una firme conexión y un bajo riesgo de discontinuidad en el sistema.

Las conexiones, por otro lado, son los medios que se utilizan para enlazar los diferentes elementos de la red de puesta a tierra, como los electrodos o varillas, asociándolos luego a los conductores que los conectan con el sistema eléctrico. Las conexiones deben estar dimensionadas en su capacidad para las corrientes de falla que puedan llegar a circular por ellas, asegurando así una transmisión eficiente y confiable de la energía eléctrica.

En síntesis, las juntas como las conexiones forman parte de los elementos fundamentales de un sistema de puesta a tierra o red de puesta a tierra, ya que hacen posible la unión de sus componentes de forma segura y contribuyen a proteger a las personas y los aparatos frente a descargas eléctricas.

A continuación, en la Figura 6 se muestra un ejemplo de Conector AB, empleado en las uniones de sistemas de puesta a tierra.

Figura 6*Conector AB*

Nota. ElectroSertec,202. Asegura una unión confiable y durable entre los conductores y los electrodos.

2.1.3.4. Sistema de medición y monitoreo. Un sistema de medición y monitoreo de puesta a tierra está constituido por dispositivos y diseñados equipos para valorar y registrar el estado de la red de puesta a tierra en un sistema eléctrico. Su principal función es verificar la observancia de los requisitos de seguridad establecidos en la normativa y detectar oportunamente cualquier anomalía que pudiera afectar su eficacia.

Se destacan entre los más empleados componentes:

- Multímetros o medidores de resistencia de tierra: permite conocer la resistencia de la puesta a tierra y, por lo tanto, permite conocer la calidad de la conexión o eficacia de la misma.
- Telurómetro: instrumento específico para la medida de la resistencia eléctrica de la tierra, es decir, medidor de resistencia de tierra.
- El telurómetro representa un elemento fundamental en la comprobación de los sistemas de puesta a tierra, pues permite conocer la seguridad de la instalación y la protección de personas y de equipos. Este aparato está compuesto generalmente por una fuente de corriente continua y dos terminales de prueba que se conectan al electrodo y a la red de tierra que se desea evaluar.

La medición se efectúa enviando una corriente eléctrica controlada a través del electrodo de tierra y registrando la caída de voltaje resultante. A partir de estos datos, la resistencia se calcula mediante la ley de Ohm.

En el sector eléctrico, la construcción y otras afines áreas, el telurómetro es indispensable, ya que consiente validar la eficacia de la puesta a tierra y anticipar fallas que comprometan la operativa seguridad. Se presenta un telurómetro en la Figura 7, instrumento utilizado ampliamente para medir la resistencia de sistemas de puesta a tierra.

Figura 7

Telurómetro



Nota. Garantizar que la resistencia esté dentro de los valores adecuados para una disipación segura de corrientes. Contribuyendo a la protección de equipos, personas y estructuras Megabras (2022).

Además de los telurómetros y multímetros, hay otros instrumentos y sistemas que complementan la medición y el monitoreo de la puesta a tierra, como los siguientes:

- Pinzas amperimétricas: disponen de la capacidad de medir las corrientes de fuga en una puesta a tierra, de forma que permite visualizar de forma anticipada los fallos respecto de la normalidad del sistema.
- Analizadores de calidad de energía: se utilizan para registrar parámetros eléctricos (como por ejemplo la distorsión armónica, la frecuencia y otros).

- Sistemas de monitoreo remoto: se utilizan para proporcionar medidas en tiempo real desde ubicaciones exteriores y permite asegurar un monitoreo ininterrumpido, así como la adopción de medidas de prevención en el tiempo apropiado.
- Sistemas de registro y almacenamiento de datos: permiten conservar y analizar las mediciones a lo largo del tiempo, facilitando la identificación de tendencias y la evaluación integral del estado del sistema de puesta a tierra.

2.1.4. Productos químicos en un sistema de puesta a tierra

En los sistemas de puesta a tierra, los productos químicos más empleados son las sales conductoras, utilizadas para incrementar la conductividad eléctrica del suelo y reducir la resistencia de contacto entre el electrodo y la tierra.

De acuerdo con el USGS (2023), las sales de tierra más comunes son el cloruro de sodio (NaCl) y el sulfato de sodio (Na_2SO_4). Asimismo, se emplean otros compuestos como el sulfato de magnesio (MgSO_4) y el cloruro de calcio (CaCl_2), cuya elección depende de la disponibilidad local y de las características específicas del suelo.

El uso de estas sales tiene como propósito mejorar la conexión entre el electrodo y la tierra, reduciendo la resistencia de contacto y, por consiguiente, optimizando la eficacia del sistema de puesta a tierra. Esto contribuye a disminuir los riesgos eléctricos que podrían afectar tanto a las personas como a los equipos electrónicos.

Además, las sales conductoras pueden ayudar a reducir la corrosión de los electrodos, al formar una capa protectora sobre su superficie que limita la oxidación y otros procesos corrosivos.

Sin embargo, es fundamental que su aplicación sea controlada y moderada, dado que un uso excesivo puede impactar negativamente en la calidad del suelo y en el medio ambiente. Por ello, se recomienda emplearlas en concentraciones apropiadas, garantizando un equilibrio entre eficiencia técnica y sostenibilidad ambiental.

Entre los productos químicos más utilizados en los sistemas de puesta a tierra se encuentran:

2.1.4.1. Bentonita. La bentonita es una arcilla compuesta principalmente por montmorillonita, un mineral que le otorga la propiedad de expandirse en contacto con el agua. Esta característica le confiere una alta capacidad de absorción tanto de agua como de sustancias solubles, razón por la cual se emplea en múltiples aplicaciones industriales y en sistemas de puesta a tierra.

En el ámbito de la puesta a tierra, la bentonita se utiliza como material de relleno para mejorar la conductividad eléctrica del suelo. Su capacidad de retención de humedad contribuye a mantener una baja resistencia eléctrica en el entorno del electrodo, lo que favorece la disipación de corrientes de falla y descargas atmosféricas de manera más eficiente. Asimismo, su resistencia al calor la convierte en un material apropiado para instalaciones sometidas a condiciones de alta temperatura.

Es significativo destacar que, para certificar su efectividad, la bentonita debe ser adecuadamente mezclada con el suelo. Se recomienda generalmente, una proporción entre 5 % y 10 %, aunque este valor puede modificarse según las características del terreno y el tipo de sistema eléctrico en el que se aplique.

2.1.4.2. Cemento conductor. El cemento conductor es un material utilizado en los sistemas de puesta a tierra con el fin de mejorar la conductividad eléctrica del suelo. Está constituido por una mezcla de cemento Portland, arena y materiales conductores como polvo de cobre, aluminio u otros metales, lo que permite establecer una conexión eficiente entre los electrodos y el terreno, facilitando la disipación de corrientes de falla o descargas atmosféricas.

La utilidad de este material es especialmente notable en terrenos con baja conductividad eléctrica, tal y como puede ser el caso de los suelos de rocas, de arena o sobre suelos secos. También es utilizado en situaciones donde las circunstancias del clima son áridas o en

instalaciones donde la retención del agua es mala, como los suelos con poca humedad natural. En éstas, el cemento conductivo ayuda a reducir la resistencia eléctrica y mejorar el rendimiento del sistema de puesta a tierra.

Deben considerarse las resistividades típicas para las distintas naturalezas de suelo, que son distintas para cada uno de ellos. En la Tabla 1, se muestran los típicos rangos de resistividad de los suelos, que permiten identificar los mejores valores para la disipación de corriente eléctrica. En la Tabla 1 se puede establecer la resistividad del tipo de terreno de cada uno de ellos y cómo pueden conducir corriente eléctrica respecto de su naturaleza. En la Tabla 1 se muestra la resistividad del terreno según su naturaleza, lo que permite determinar la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica.

Tabla 1

Resistividad del terreno según naturaleza

Naturaleza del terreno	Resistividad de Ohm . m
Terrenos Pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba Húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silícea	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1.500 a 3.000

Naturaleza del terreno	Resistividad de Ohm . m
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1.500 a 10.000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600

Nota. Determina la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica, siendo más favorable en terrenos con baja resistividad, como las arcillas húmedas, que permiten una mejor disipación de corrientes (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013).

2.1.4.3. Thor Gel. El Thor Gel es un producto comercializado por la empresa Thor Internacional como gel conductor destinado a la industria eléctrica. Este material se emplea para optimizar la conductividad en las conexiones eléctricas y aumentar la resistencia a la corrosión de los componentes expuestos a la humedad.

El Thor Gel, en el contexto de los sistemas de puesta a tierra, se considera como material de relleno para mejorar la unión entre el conductor y el electrodo de puesta a tierra. No obstante ello, su aplicación será únicamente aquella que se realice en estricta conformidad con las normas y estándares de seguridad eléctrica vigentes, con el fin de garantizar un funcionamiento seguro y la eliminación de los riesgos de descarga.

La cantidad de gel requerida en un sistema de puesta a tierra varía en función de factores como el tipo y tamaño del electrodo, la resistividad del suelo y las condiciones ambientales propias del entorno de instalación.

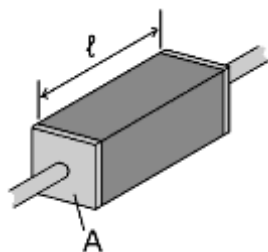
2.1.5. Resistividad eléctrica

La resistividad eléctrica es una propiedad física de los materiales que mide su capacidad para oponerse al flujo de la corriente eléctrica. Es el inverso de la conductividad eléctrica, la cual determina la facilidad de un material para conducir corriente. Según Electrical Volt (2023), la resistividad se mide en ohm-metros ($\Omega \cdot m$) y constituye un parámetro clave en el diseño de sistemas eléctricos y de puesta a tierra.

En la Figura 8 se muestra un esquema representativo de la resistividad eléctrica.

Figura 8

Resistividad



Nota. Itzli,2023. Representa el concepto de resistividad como la oposición que presenta un material al paso de la corriente eléctrica.

2.1.6. Resistividad del terreno

La resistividad del terreno se define como la medida de la oposición que el suelo ofrece al paso de la corriente eléctrica. La resistividad de un suelo determinado puede depender de distintos factores como la composición del mismo, la humedad, la temperatura, la densidad, la presencia de impurezas, etc.

En el diseño de un sistema de puesta a tierra se debe considerar la resistividad del terreno, ya que una resistividad alta supondrá un obstáculo en la disipación de la corriente eléctrica (lo que significa una baja eficacia de la instalación), mientras que una baja resistividad permite una rápida disipación, es decir, una protección más eficaz frente a la aparición de descargas eléctricas.

La resistividad del terreno se expresa en ohm-metros ($\Omega \cdot m$) y se determina mediante pruebas de campo que utilizan técnicas como el método de Wenner o el método de Schlumberger. Estas técnicas consisten en inyectar corriente eléctrica en el suelo a través de electrodos y medir la caída de potencial resultante, lo que permite calcular la resistividad mediante fórmulas matemáticas específicas.

Es importante destacar que la resistividad del terreno puede variar en el tiempo debido a factores climáticos y a actividades humanas desarrolladas en la zona. Por ello, se recomienda realizar mediciones periódicas para garantizar el desempeño continuo y la eficacia del sistema de puesta a tierra.

2.1.7. Métodos de la resistividad

Los métodos de resistividad eléctrica más utilizados en la determinación de las características de los suelos para la aplicación de sistemas de puesta a tierra mediante tierra son el denominado método de Wenner y el método de Schlumberger. Estos métodos funcionan mediante la inyección de corriente en el terreno, mediante electrodos, pero también mediante la medición de la diferencia de potencial de los electrodos, para calcular la resistividad aparente del suelo.

Todo ello hace que estos procedimientos sean bastante utilizados en la ingeniería eléctrica y en geofísica, al ser éstos bastante útiles para el diseño de sistemas de puesta a tierra seguros y eficaces.

A continuación, se describirá cada método de manera específica.

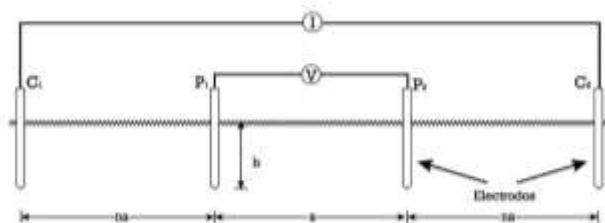
2.1.7.1. Método de Schlumberger. La técnica de Schlumberger es un método que se utiliza para determinar la resistividad eléctrica del suelo mediante una configuración concreta de los electrodos. En la diferencia con el método de Wenner, el método de Schlumberger se caracteriza por utilizar unos electrodos de corriente, separados por una distancia superior a la distancia utilizada en el caso del método de Wenner, aplicando los electrodos de potencial a distancia menor, situados en medio y en la zona central del sistema.

De forma práctica, la corriente eléctrica se hace pasar por la tierra mediante los electrodos externos, mientras que la caída de potencial (voltaje) se mide entre los electrodos internos, dado que la disposición de electrodos y la forma de inyección de corriente estimulada permiten determinar la resistividad del terreno a profundidades en principio mayores, hecho por el cual el método de Schlumberger se adecua a estudios en los que se desea conocer estratos profundos.

En la Figura 9 se presenta una representación esquemática del método de Schlumberger.

Figura 9

Representación del método de Schlumberger

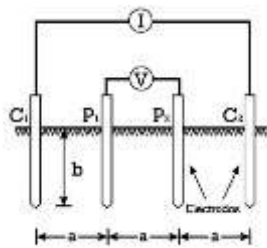


Nota. Los electrodos de corriente se colocan más separados que los de potencial para medir la resistividad del suelo (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013).

2.1.7.2. Método de Wenner. El método de Wenner es una de las técnicas más utilizadas para la medición de la resistividad del suelo. Consiste en la colocación de cuatro electrodos alineados de manera equidistante, donde los dos electrodos externos se emplean para inyectar corriente eléctrica y los dos internos para medir la caída de voltaje. La resistividad del suelo se establece a partir de una fórmula matemática que relaciona la distancia entre los electrodos con la diferencia de potencial registrada. Resulta confiable y práctico este método para estudios de resistividad superficial y se aplica con frecuencia en proyectos de diseño y evaluación de sistemas de puesta a tierra. Se muestra en la Figura 10 un representativo esquema del método de Wenner.

Figura 10

Método de Wenner



Nota. Se colocan cuatro electrodos en línea, distribuidos equidistantemente, para determinar la resistividad del suelo (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013).

2.1.8. Fórmulas de la resistividad

2.1.8.1. Cálculo de la resistividad (r). La fórmula para calcular la resistividad de un material es: $p = (R * A) / L$

Donde:

- p : es la resistividad, en ohmios-metro ($\Omega \cdot m$)
- R : es la resistencia eléctrica del material, en ohmios (Ω)
- A : es la sección transversal del material, en metros cuadrados (m^2)
- L : es la longitud del material, en metros (m)

La resistividad es una propiedad intrínseca de cada material, la cual permite determinar la oposición que este presenta al paso de la corriente eléctrica. Su unidad de medida es el ohmio-metro ($\Omega \cdot m$).

En términos prácticos, cuanto mayor es el valor de la resistividad, mayor será la resistencia eléctrica del material y menor su capacidad para conducir la electricidad.

2.1.8.2. Cálculo de resistencia de electrodo vertical. Para estimar la resistencia de un electrodo vertical de puesta a tierra, se utiliza la siguiente expresión matemática, propuesta en las normas internacionales de referencia:

$$R_v = (\rho * (2\pi L)) / (\ln (4L/d) + k)$$

Donde:

- R_v = resistencia del electrodo vertical en ohmios (Ω).
- ρ = resistividad del terreno en ohmios-metros ($\Omega \cdot m$).
- L = longitud del electrodo vertical en metros (m).
- d = diámetro del electrodo vertical en metros (m).
- k = constante dependiente del tipo de suelo, cuyo valor varía entre 0,5 y 2,0, según las recomendaciones establecidas por la IEEE Std 80-2013 y la IEC 60364-5-54.

Cabe resaltar que esta fórmula únicamente proporciona un aproximado valor de la resistencia, dado que la resistividad del terreno puede fluctuar en función de factores como la humedad, la temperatura y la composición del suelo. Por dicho motivo, se recomienda complementar el cálculo con directas mediciones en campo, a fin de obtener una más precisa estimación de la resistencia real del electrodo vertical de puesta a tierra (IEEE, 2013; IEC, 2002).

2.1.8.3. Resistencia de electrodos en paralelo. Para calcular la resistencia de electrodos paralelos de puesta a tierra, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$R_t = (R_1 * R_2) / (R_1 + R_2)$$

Donde:

- R_t = resistencia total del sistema (Ω).
- R_1 y R_2 son las resistencias de los electrodos individuales en ohmios (Ω).

Es primordial pensar que esta expresión resulta únicamente válida cuando los electrodos están a una distancia suficiente entre sí, de modo que los generados campos eléctricos por cada uno no se superpongan de modo significativo. Si se instalan los electrodos demasiado próximos, se presenta el designado efecto de acoplamiento, que reduce la eficiencia del sistema y altera la obtenida resistencia. Es necesario aplicar en estos casos, modelos más complejos que contemplen la interacción de los campos eléctricos para establecer con mayor precisión la resistencia total.

2.1.8.4. Cálculo de resistencia de la malla. La resistencia de una malla o anillo de puesta a tierra puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$R_{\omega} = \rho * (4 A / P)$$

Donde:

- R_{ω} = resistencia de la malla o anillo (Ω).
- ρ = resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$).
- A = área de la malla o anillo (m^2).
- P = perímetro de la malla o anillo (m).

Esta fórmula parte del supuesto de que la malla está enterrada a una adecuada profundidad que permita una uniforme distribución de la corriente eléctrica en el suelo. Si la malla se encuentra demasiado próxima a la superficie, sin embargo, la resistencia del sistema puede acrecentarse debido a la presencia de capas de suelo superficial con resistividad más alta que la del terreno subyacente. En tales casos, resulta forzoso emplear más avanzados modelos que contemplen la estratificación del suelo y otros factores asociados, con el propósito de obtener una más precisa estimación de la resistencia de la malla de puesta a tierra.

2.1.9. Marco conceptual

El presente apartado reúne los principales conceptos relacionados con los sistemas de puesta a tierra, cuya comprensión resulta fundamental para el desarrollo del estudio. Estas definiciones permiten establecer un marco de referencia técnico y terminológico que facilita la interpretación de los cálculos, modelos y resultados posteriores (IEEE Std 80, 2013; IEC 60364-5-54, 2011; NFPA 70, 2023).

- Puesta a tierra: sistema cuya finalidad es conectar eléctricamente una instalación a la tierra con el propósito de garantizar la seguridad de las personas y la protección de los equipos eléctricos.
- Electrodo de puesta a tierra: elemento enterrado en el suelo que permite establecer una conexión eléctrica confiable con la tierra. Los electrodos pueden adoptar diversas configuraciones, tales como verticales, horizontales o anulares.
- Resistividad del terreno: medida de la capacidad del suelo para oponerse al flujo de corriente eléctrica. Este parámetro depende de factores como la composición del suelo, el contenido de humedad, la temperatura y la estratificación geológica.
- Malla de puesta a tierra: estructura compuesta por un conjunto de conductores enterrados, dispuestos generalmente en forma de cuadrícula. Su función es disminuir la resistencia de puesta a tierra y garantizar una distribución uniforme de la corriente en el suelo.
- Anillo de puesta a tierra: configuración similar a la malla, pero de forma perimetral o circular. Se emplea principalmente en instalaciones eléctricas de alta tensión para reforzar la seguridad de la conexión a tierra.
- Resistencia de puesta a tierra: medida de la oposición que ofrece un sistema de puesta a tierra al paso de la corriente eléctrica. Está determinada por variables como

la resistividad del terreno, la geometría y el tipo de electrodo, así como la profundidad de instalación.

- Corriente de falla: corriente que circula por el sistema de puesta a tierra en caso de presentarse una falla eléctrica. Generalmente alcanza valores elevados y, si el sistema no está correctamente diseñado, puede representar un riesgo grave para las personas y los equipos.
- Voltaje de paso: diferencia de potencial que aparece en la superficie del suelo cuando circula una corriente a través de un conductor enterrado. Puede ser peligroso para las personas o animales que se encuentren en contacto con el terreno si alcanza niveles elevados.
- Voltaje de contacto: diferencia de potencial que se manifiesta en el cuerpo humano o animal al entrar en contacto con una estructura conductora que posee un voltaje distinto al de la tierra. Este fenómeno puede ocasionar lesiones severas o incluso la muerte si no se controlan sus efectos.

2.1.10. Legalidades de los pozos a tierra

En el Perú, las disposiciones técnicas para la instalación de pozos a tierra están reguladas por la Norma Técnica Peruana NTP 900.011:2014 – "Pozos a tierra", emitida por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2014). Esta norma establece los requisitos mínimos para garantizar la seguridad de las instalaciones eléctricas y de las personas, así como la eficacia de los sistemas de puesta a tierra.

Entre las principales recomendaciones y requisitos contemplados por la norma se destacan los siguientes:

- Diseño: el pozo a tierra debe ser diseñado por un ingeniero electricista o electromecánico, considerando la corriente máxima del sistema eléctrico y la resistividad del suelo en el lugar de instalación.

- Profundidad: la profundidad mínima del pozo debe ser de 2 metros, medida desde la superficie del suelo hasta el fondo del pozo.
- Diámetro: el diámetro mínimo del pozo debe ser de 10 centímetros.
- Materiales: los electrodos deben ser contruidos con materiales conductores, como varillas de cobre o acero galvanizado. Se recomienda el uso de mezclas de sal y grafito para mejorar la conductividad del suelo.
- Conexiones: todas las conexiones eléctricas del sistema deben realizarse mediante conectores mecánicos y contar con protección contra la corrosión.
- Distancias: el pozo a tierra debe ubicarse a una distancia mínima de 3 metros de otras estructuras o tuberías metálicas, y a al menos 1 metro de tuberías de agua o gas.
- Mantenimiento: se debe realizar inspección y mantenimiento periódicos para asegurar el correcto funcionamiento del sistema y prevenir la corrosión de los materiales.

2.1.11. Creación de un pozo a tierra

Como se ha señalado a lo largo del marco teórico, las especificaciones para la implementación de un sistema de puesta a tierra pueden variar según los requerimientos, la naturaleza de la instalación y su finalidad. No obstante, existen procedimientos generales que guían la correcta creación de un pozo a tierra.

Antes de iniciar la instalación, se debe realizar un estudio de la resistividad del suelo para determinar tanto la profundidad necesaria del pozo como la cantidad de material conductor requerido. Con base en este estudio, un ingeniero electricista o electromecánico diseña el pozo, considerando la corriente máxima del sistema eléctrico y las características del terreno.

La zona de instalación debe prepararse adecuadamente; esto incluye la limpieza y nivelación del área para evitar cualquier obstrucción que pueda interferir con el proceso de

instalación. Posteriormente, se excava el pozo siguiendo las dimensiones especificadas en el diseño, recomendándose un diámetro mínimo de 10 centímetros y una profundidad de entre 2 y 3 metros.

Una vez excavado, se colocan las varillas conductoras, comúnmente de cobre y conocidas como electrodos, en el fondo y a los bordes del pozo, conectándolas mediante un conductor adecuado. Estas varillas se enlazan al sistema eléctrico, asegurando una unión confiable y segura que permita la correcta conducción de la corriente hacia tierra.

El pozo se rellena con materiales conductores, como mezclas de sal y grafito, bentonita o Thor Gel, con el fin de optimizar la conductividad eléctrica del sistema. Tras completar la instalación, se mide la resistencia del pozo utilizando instrumentos adecuados, registrando los valores obtenidos para mantener un historial de control y verificación del sistema.

Finalmente, se recomienda realizar inspecciones y mantenimiento regular del pozo a tierra, garantizando así su correcto funcionamiento y previniendo la corrosión de los materiales empleados.

2.1.12. Pulpa de café

Definición y origen:

- La pulpa de café es el principal subproducto generado durante el despulpado del grano. Está compuesta por el exocarpio y parte del mesocarpio del fruto, representando aproximadamente el 40–50 % del peso total del fruto maduro.
- Su disposición inadecuada puede causar problemas ambientales en zonas cafetaleras. Ha sido estudiada para su uso en compostaje, producción de energía y, más recientemente, como material conductor en sistemas eléctricos.

Composición química y propiedades físicas relevantes:

- Contiene celulosa, hemicelulosa, lignina, pectinas, azúcares solubles, proteínas y minerales como potasio, calcio, magnesio y fósforo.

- Su composición favorece la retención de humedad, la interacción iónica con el suelo y el flujo de corriente eléctrica, especialmente en estado fresco o semi-fresco.

Justificación de uso en sistemas de puesta a tierra:

- La pulpa de café surge como una alternativa técnica y ambientalmente viable frente a materiales tradicionales como cemento conductor o gel bentónico.
- Su alta capacidad de retención de humedad, riqueza mineral y bajo costo permiten mejorar la conductividad del terreno en zonas con alta resistividad, particularmente en áreas rurales.

Estudios previos y experiencias:

- Sartori (2020): Evaluación de materiales conductores naturales en ambientes rurales.
 - Se probó la pulpa de café junto con bagazo de caña y cáscara de arroz como rellenos conductores.
 - Resultados: reducción de la resistividad aparente del terreno hasta en un 68 % durante los primeros meses, manteniendo desempeño estable bajo humedad controlada.
- Cáceres y Alvarado (2022): Uso de residuos orgánicos para optimización de pozos de puesta a tierra en zonas rurales de Colombia.
 - Se incluyó la pulpa de café como material probatorio.
 - Conclusión: su composición rica en sales minerales y materia orgánica mejora la conductividad del suelo y prolonga la vida útil de los electrodos.
- Aunque existen pocos estudios específicos sobre su uso en pozos a tierra, investigaciones recientes han explorado otros residuos orgánicos como cáscaras de arroz, bagazo de caña y compost orgánico.

- La pulpa de café, abundante en la región San Martín, presenta condiciones ideales para su aplicación experimental en esta área.

2.1.13. Impulso gaussiano en simulaciones eléctricas transitorias

En el estudio de sistemas eléctricos, especialmente en el análisis de sistemas de puesta a tierra, resulta fundamental comprender cómo responden dichos sistemas frente a fenómenos transitorios de corta duración, como descargas atmosféricas o sobretensiones. Para ello, se emplea el impulso gaussiano, una función matemática que permite representar de manera precisa y controlada estas perturbaciones, facilitando su análisis mediante simulaciones numéricas.

Definición:

- El impulso gaussiano es una función matemática que describe una onda simétrica, con amplitud máxima en el centro y caída exponencial hacia los extremos.
- Su forma se basa en la “campana de Gauss” y es ampliamente utilizada en el análisis de señales y sistemas eléctricos para representar fenómenos de corta duración.

Aplicaciones:

- Se emplea para modelar descargas eléctricas transitorias, rayos y sobretensiones en redes eléctricas.
- En sistemas de puesta a tierra, permite simular la respuesta del sistema ante perturbaciones súbitas, como la descarga atmosférica de un rayo.

Ventajas en simulaciones:

- Su forma suave y controlada es ideal para estudios numéricos, donde se evalúa la disipación de energía en un circuito RLC.
- Representa con precisión el comportamiento eléctrico del suelo y del sistema de puesta a tierra frente a fenómenos transitorios.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

De acuerdo con Sabino (1999), los estudios pueden clasificarse en diferentes tipos: documental, de campo, experimental, cuasiexperimental, transversal, longitudinal y de caso. Cada uno se caracteriza por el tipo de datos que recopila, el método de recolección y el diseño que lo sustenta.

En el presente trabajo se adoptó un enfoque cuantitativo con un diseño cuasiexperimental, ya que se parte del análisis de datos numéricos para identificar relaciones causales y proponer soluciones al problema planteado. El experimento constituyó la herramienta central, pues permitió evaluar la protección de equipos electrónicos

Es transversal, ya que la información fue recolectada comparando el estado de las variables en un único corte de análisis (antes y después de la implementación, tratado como una sola medición comparativa), lo que permite analizar la relación entre el sistema de puesta a tierra con pulpa de café y la protección de los equipos electrónicos sin necesidad de un seguimiento continuo en el tiempo.

Se optó por un diseño cuasiexperimental porque permitió evaluar la protección de los equipos electrónicos, midiendo la eficacia a través de la reducción del número de fallas electrónicas y la eficiencia mediante la disminución de los costos de reparación y mantenimiento, antes y después de la implementación del sistema de puesta a tierra con pulpa de café.

Según Hernández Sampieri et al. (2014), la investigación aplicada se orienta a generar conocimiento con un fin práctico: busca comprender para actuar, transformar o resolver un problema específico, apoyándose en teorías y saberes ya existentes. En cambio, la investigación descriptiva tiene como propósito detallar con precisión las características, propiedades o comportamientos de un fenómeno, ofreciendo un panorama claro de su naturaleza. Finalmente,

el diseño cuasiexperimental se emplea para evaluar el efecto de una intervención, aunque no cumple con todos los requisitos de un experimento puro, ya que siempre existen variables externas que no pueden ser completamente controladas.

En este contexto, la presente investigación se clasifica como:

- Aplicada: porque emplea principios técnicos y normativos sobre sistemas de puesta a tierra para implementar y evaluar el uso de la pulpa de café como material conductor alternativo para la protección de equipos electrónicos en entidades públicas de la Región San Martín.
- Por la relación entre las variables de estudio, nuestra investigación es de tipo descriptiva y explicativa
- Descriptiva: ya que analiza y presenta las características eléctricas del sistema de puesta a tierra (resistencia, impedancia y variaciones por condiciones del suelo) antes y después de la aplicación de la pulpa de café, comparando los resultados con materiales convencionales como Thor Gel y cemento conductor.
- Explicativa porque se establece una relación causa efecto entre nuestras variables de estudio y manipulamos nuestra variables independiente (Sistema de puesta a tierra usando pulpa de café) para observar cambios en nuestra variable dependiente (protección de equipos electrónicos)

3.2. Ámbito temporal y espacial

La presente investigación se llevó a cabo en las entidades públicas de la región San Martín, específicamente en:

- Corte Superior de Justicia de San Martín
- Seguro Social de Salud del Perú (EsSalud)
- Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP)

El objetivo principal es evaluar el desempeño del sistema de puesta a tierra implementado con pulpa de café como material conductor alternativo.

El ámbito temporal comprende el año 2023, período durante el cual se realizarán las mediciones y análisis necesarios para determinar la efectividad del sistema en condiciones reales de operación.

Se contemplan las siguientes variables en el estudio:

- Variable independiente: Sistema de puesta a tierra con pulpa de café.
- Variable dependiente: Protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín.

Este enfoque permite relacionar directamente la intervención (uso de pulpa de café) con los resultados obtenidos en la protección de los equipos eléctricos, dentro de un contexto específico tanto geográfico como temporal.

3.3. Variables

En la presente investigación se consideran una variable independiente y una variable dependiente, las cuales se definen y operacionalizan de acuerdo con los objetivos del estudio.

Variable independiente: Sistema de puesta a tierra usando pulpa de café.

Variable dependiente: Protección de equipos electrónicos.

Tabla 2*Operacionalización de las variables*

Variable	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumento	Escala de medición
Sistema de puesta a tierra usando pulpa de café	Implementación del sistema	Presencia del sistema de puesta a tierra con pulpa de café	Observación directa	Ficha técnica de instalación	Categórica nominal
	Eficacia	Número de fallas electrónicas en los equipos antes y después de la implementación del sistema	Revisión documental y encuesta técnica	Registro de fallas / ficha de mantenimiento	Cuantitativa (recuento de fallas y porcentaje de reducción)
	Protección de equipos electrónicos	Costos de reparación de equipos electrónicos antes y después de la implementación del sistema	Revisión documental	Ficha de costos de reparación / reportes de mantenimiento	Cuantitativa (monto en soles y porcentaje de reducción)
	Nivel de satisfacción	Número de fallas Vida útil del equipo Continuidad del servicio	Encuesta	Cuestionario con escala de Likert de 5 puntos	Escala (intervalo)

Nota. Elaboración Propia.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

En estadística, la población hace referencia al conjunto total de elementos o individuos que comparten una o varias características comunes y que resultan relevantes para un estudio (Mendenhall et al., 2013). Estos elementos pueden ser personas, animales, plantas, objetos o cualquier entidad susceptible de ser medida o cuantificada.

En esta investigación se identificaron dos poblaciones de estudio:

Población 1: Equipos electrónicos (pozos a tierra) en entidades públicas de la región San Martín, seleccionándose mediante muestreo por conveniencia pozos a tierra en varias ciudades de la región que disponen de sistemas tales como CPU, monitor, teclado, mouse.

Población 2: Personas que utilizan los equipos electrónicos conectados al suministro eléctrico en las entidades públicas de la región San Martín intervenidas con el Sistema de Puesta a Tierra con Pulpa de Café (SPT-PC). Esta población estuvo constituida por 33 trabajadores distribuidos en las once sedes de la Corte Superior de Justicia de San Martín, EsSalud y SUNARP, quienes dan cuenta de la mejora en la calidad del servicio y la protección de los equipos experimentada luego de la intervención realizada.

3.4.2. Muestra

Según Triola (2018), una muestra se define como un subconjunto representativo y seleccionado de la población, que se utiliza para obtener información sobre las características de la población en su conjunto.

Para la presente investigación se aplicaron dos tipos de muestreo según la población de estudio. Para la Población 1 (equipos electrónicos — pozos a tierra), se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, dado que la selección de los pozos estuvo determinada por el acceso a las entidades públicas y la viabilidad de realizar mediciones en sus instalaciones. Para la Población 2 (usuarios de equipos electrónicos), se empleó un muestreo probabilístico

aleatorio simple, aplicando la fórmula para población finita con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, lo que permitió determinar de manera estadísticamente justificada el tamaño de la muestra.

La muestra incluyó los pozos a tierra de las siguientes entidades:

- Corte Superior de Justicia de San Martín
- Seguro Social de Salud del Perú (EsSalud)
- Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP)

Cada entidad cuenta con sedes en distintas ciudades de la región, tales como Moyobamba, Nueva Cajamarca, Rioja, Tarapoto, Lamas, Bellavista, Picota, Juanjuí, Yurimaguas, Uchiza y Tocache.

En total, se evaluaron 38 pozos a tierra, lo cual permite realizar un análisis sólido y representativo de la efectividad del uso de la pulpa de café como material conductor en comparación con materiales convencionales.

Para la Población 2 (usuarios de equipos electrónicos), se aplicó la fórmula de cálculo de muestra para población finita, con los siguientes parámetros: $N = 33$ (total de usuarios en las sedes intervenidas), $Z\alpha^2 = 1.96$ (nivel de confianza del 95%), $p = 0.5$ (probabilidad de ocurrencia del evento), $q = 0.5$ (probabilidad de no ocurrencia) y $e = 0.05$ (error de estimación máximo aceptado del 5%).

$$n = (N \times Z^2 \times p \times q) / (e^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q)$$

$$n = (33 \times (1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5) / ((0.05)^2 \times (33 - 1) + (1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5)$$

$$n = (33 \times 3.8416 \times 0.25) / (0.0025 \times 32 + 3.8416 \times 0.25)$$

$$n = 31.6932 / (0.08 + 0.9604)$$

$$n = 31.6932 / 1.0404$$

$$n \approx 30 \text{ usuarios}$$

Aplicando la fórmula se obtuvo una muestra de 30 usuarios, lo cual coincide con el total de participantes involucrados en el estudio. Estos 30 empleados estuvieron distribuidos de la siguiente manera:

- Corte Superior – Tarapoto: 4 usuarios
- EsSalud – Bellavista: 3 usuarios
- EsSalud – Lamas: 3 usuarios
- EsSalud – Rioja: 3 usuarios
- EsSalud – Yurimaguas: 3 usuarios
- Poder Judicial – Picota: 3 usuarios
- SUNARP – Juanjuí: 3 usuarios
- SUNARP – Moyobamba: 3 usuarios
- SUNARP - Nueva Cajamarca: 1 usuarios
- SUNARP – Tocache: 2 usuarios
- SUNARP – Uchiza: 2 usuarios
- Total general: 30 usuarios

En cada una de las sedes seleccionadas se registró la información disponible sobre fallas electrónicas y costos de reparación asociados a los equipos electrónicos, así como sobre la satisfacción, antes y después de la implementación del sistema de puesta a tierra con pulpa de café. Estos datos permitieron evaluar la eficacia (reducción del número de fallas) y la eficiencia (reducción de costos de reparación) y la satisfacción del usuario del sistema propuesto.

3.5. Instrumentos

En el presente estudio se aplicaron dos técnicas de investigación. La primera, la observación, permitió la realización de mediciones en campo respecto a la eficacia y eficiencia, antes y después de la implementación realizada. La segunda fue la técnica de la encuesta, la cual permitió obtener información respecto a la satisfacción de los usuarios.

Como instrumento para la encuesta, se presenta la siguiente ficha técnica del instrumento.

Tabla 3*Ficha técnica del instrumento*

Ficha técnica del instrumento	
Nombre	Cuestionario de satisfacción del usuario final de equipos electrónicos
Variable	Protección de equipos electrónicos
Dimensión	Nivel de satisfacción
Indicadores	1) Número de fallas en equipos electrónicos 2) Vida útil de los equipos electrónicos 3) Continuidad del servicio y del trabajo
Nº de ítems	15 ítems cuantitativos (5 por indicador)
Escala	Likert de 5 puntos: 1=Nunca 2=Casi Nunca 3=A veces 4=Casi Siempre 5=Siempre
Diseño de respuesta	Comparativo Pre-Post: cada ítem se responde ANTES (sistema convencional) y DESPUÉS (sistema con pulpa de café)
Población objetivo	Personal usuario de equipos electrónicos en entidades públicas de la Región San Martín intervenidas con el SPT-PC
Tiempo de aplicación	10 a 15 minutos
Validación	Juicio de expertos – mínimo 3 especialistas en Ingeniería Electrónica y/o Metodología de Investigación
Confiabilidad	Coefficiente Alfa de Cronbach ($\alpha = 0.86$), considerado como bueno según los criterios de George y Mallery (2003), superando el umbral mínimo aceptable de 0.70. Ver Anexo: Confiabilidad del Instrumento.
Prueba estadística	Shapiro-Wilk (normalidad) + T de Student para muestras relacionadas o Wilcoxon ($p < 0.05$)
Autor	Chávez Lavi, Edy Nicolas – UNFV – Lima, Perú, 2026

Nota. Elaboración Propia.

Respecto a la confiabilidad del instrumento, el cuestionario de satisfacción del usuario final de equipos electrónicos fue sometido al análisis de consistencia interna mediante el Coeficiente Alfa de Cronbach, procesado con el software estadístico SPSS v.26. El resultado obtenido fue $\alpha = 0.86$, valor que según los criterios establecidos por George y Mallery (2003) se ubica en el rango “bueno” ($0.80 \leq \alpha < 0.90$), lo que garantiza que el instrumento posee una consistencia interna adecuada y, por tanto, es confiable para medir la variable de estudio. Los

resultados detallados del análisis de confiabilidad se presentan en el apartado de Anexos del presente documento.

Por otro lado, las mediciones se realizaron directamente en campo, en distintas entidades públicas situaciones del ámbito de la región San Martín, entre ellas la Corte Superior de Justicia, EsSalud y SUNARP, las cuales tienen presencia en once ciudades, a saber: Moyobamba, Tarapoto, Rioja, Lamas, Nueva Cajamarca, Picota, Juanjuí, Bellavista, Yurimaguas, Uchiza y Tocache.

En cada sede se identificaron los respectivos pozos de puesta a tierra disponibles y fueron probados con un telurómetro digital calibrado con el objetivo de determinar la resistencia eléctrica inicial de cada pozo. Luego se procedió a aplicar los tres tipos de materiales: pulpa de café, cemento conductor y el Thor Gel y después de cada intervención efectuada se repitieron de forma correcta las mediciones para comparar los valores antes y después del tratamiento y registrar los resultados en tablas que explicitan claramente el comportamiento de cada material.

A fin de complementar este análisis, se recabaron mediciones mediante el método de Wenner, que consiste, además, en reunir cuatro electrodos, distribuidos en el suelo a distancia constante (1 m, 2 m y 3 m), para inyectar corriente eléctrica e, igualmente, medir la diferencia potencial. Este método nos permite calcular la resistividad aparente del terreno a varias profundidades.

Se llevaron a cabo tres mediciones en dos direcciones (horizontal y vertical), lo que nos permitió contemplar variaciones en la composición del suelo. Para el registro de estos datos, se procedió a organizar, procesar y aplicar las fórmulas de medición para obtener resistividades en cada caso. Esos valores fueron la base de una matriz de 3x3 resistividades aparentes, usada en simulaciones realizadas en MATLAB para modelizar el comportamiento eléctrico del terreno en condiciones transitorias, que se expresa en un circuito equivalente RLC.

Este procedimiento permitió verificar de forma objetiva la eficiencia del suelo tratado con pulpa de café y a la vez comparar el rendimiento del suelo tratado con pulpa de café frente a otros materiales tradicionales como es el caso de Thor Gel o el cemento conductivo.

La recolección de datos se realizó mediante un diseño pre test y post test, considerando registros de fallas electrónicas y costos de reparación de los equipos antes y después de la implementación del sistema de puesta a tierra con pulpa de café.

Los datos fueron obtenidos a partir de reportes de mantenimiento, registros de incidencias y documentos internos de las entidades públicas evaluadas.

Tabla 4

Resumen de Pozos de Puesta a Tierra Evaluados

Entidad pública	Ciudad	Nº Pozos Evaluados
Corte Superior de Justicia	Moyobamba	8
Corte Superior de Justicia	Tarapoto	5
Corte Superior de Justicia	Juanjuí	3
Corte Superior de Justicia	Yurimaguas	3
EsSalud	Rioja	3
EsSalud	Lamas	3
EsSalud	Tocache	2
SUNARP	Nueva Cajamarca	3
SUNARP	Bellavista	3
SUNARP	Picota	2
SUNARP	Uchiza	3

Nota. Elaboración Propia.

3.5.1 Recolección de datos en campo

Para la recolección de datos en campo se utilizó un telurómetro digital como herramienta principal, con el objetivo de medir la resistencia eléctrica (ohmiaje) de los pozos a tierra y, en algunos casos, estimar la resistividad del terreno mediante el método de Wenner. Asimismo, se emplearon fichas de registro técnico, que permitieron documentar las condiciones iniciales de cada pozo intervenido y obtener un panorama integral de la situación de las instalaciones evaluadas.

En cada pozo se realizó una excavación de aproximadamente 50 a 60 cm de profundidad alrededor de la varilla de cobre existente. En esta zona se aplicó pulpa de café, con el propósito de mejorar la conductividad eléctrica del entorno inmediato del electrodo.

En la ciudad de Moyobamba, se evaluaron ocho pozos a tierra con diferentes funciones:

- P-01 y P-08: Puesta a tierra para pararrayos.
- P-02: Puesta a tierra del grupo electrógeno.
- P-03, P-04, P-05 y P-06: Puesta a tierra de equipos electrónicos.
- P-07: Puesta a tierra de aire acondicionado de gran capacidad.

En la sede de Moyobamba se realizó la excavación y la aplicación de pulpa de café alrededor de la varilla de cobre, cuidando que el material quedara distribuido de forma uniforme y en contacto directo tanto con la superficie metálica como con el suelo circundante. Esta fue una de las primeras pruebas de campo en la zona, donde además se efectuaron las mediciones de resistencia eléctrica del sistema. Estas actividades no solo permitieron observar el desempeño de la pulpa de café en condiciones reales, sino que también sirvieron como base metodológica para la evaluación comparativa con otros materiales conductores en sistemas de puesta a tierra, como se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Excavación y aplicación de pulpa de café en el pozo a tierra (Moyobamba)



Nota. Se observa la excavación de aproximadamente 50 cm y la disposición circundante de la pulpa de café alrededor de la varilla de cobre, garantizando el contacto directo entre el material orgánico y el electrodo.

La disposición física de los materiales aplicados fue documentada en cada pozo intervenido, con el propósito de garantizar la validez de la comparación entre las distintas alternativas. Esto permitió establecer un contraste objetivo frente a soluciones comerciales como el cemento conductor y el Thor Gel, manteniendo la uniformidad en todo el procedimiento experimental.

En la sede de Moyobamba, inmediatamente de documentar la excavación y la aplicación de la pulpa de café (Figura 11), también se registraron las iniciales acciones de preparación de los pozos de puesta a tierra para la eléctrica medición. Estas tareas fueron esenciales para asegurar la validez de los ensayos, ya que facilitaron el acceso directo a los conductores y garantizaron la conexión correcta del telurómetro.

El proceso comenzó con el retiro de la tapa de registro, lo que permitió acceder a los principales conectores del sistema de puesta a tierra (Figura 12).

Figura 12*Retiro Tapa De Registro*

Nota. Una vez identificados los pozos de puesta a tierra, se procede al retiro de la tapa de registro para acceder a los conectores AB y habilitar la intervención.

A continuación, se ejecutó el retiro de las borneras de conexión, con el fin de aislar eléctricamente el pozo a tierra. Es fundamental, este procedimiento ya que evita que la medición de resistencia incluya adicionales elementos del sistema eléctrico y garantiza que el telurómetro únicamente registre la resistencia propia del pozo (Figura 13).

Figura 13*Retiro de borneras*

Nota. Proceso de retiro de bornera previo a la conexión del telurómetro, lo que asegura una medición directa y sin interferencias en el circuito de puesta a tierra.

Anterior al inicio de las mediciones, se ejecutó la colocación de electrodos auxiliares en el terreno, asegurando que en línea recta estos se dispusieran y a uniformes distancias entre

sí, de acuerdo con la metodología de Wenner. Es primordial esta disposición para garantizar que la medición de resistividad del suelo sea reproducible y confiable.

Figura 14

*Colocación De Electrodo*s

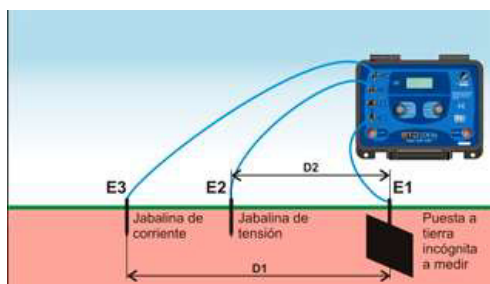


Nota. Disposición equidistante de los electrodos auxiliares, requisito fundamental para la correcta aplicación del método de Wenner.

Se procedió una vez dispuestos los electrodos auxiliares, a la conexión de los cables del telurómetro digital Megabras MTD20, asegurando la correcta polaridad y firmeza de los contactos. Fue indispensable este paso para garantizar la precisión en la inyección de corriente y la lectura posterior de la diferencia de potencial en el terreno.

Figura 15

Conexión del telurómetro Megabras MTD20



Nota. Conexión de los cables del telurómetro digital Megabras MTD20 para la medición de resistencia de puesta a tierra.

Se realizó con la conexión ya determinada, la inicial medición de resistencia en el pozo P-01 de Moyobamba. Se ejecutó el procedimiento con el telurómetro digital, obteniendo un elevado valor de resistencia, lo que demostró la necesidad de aplicar los materiales de prueba. Se documentó este resultado tanto de manera gráfica como en registros tabulados, con el fin de mantener un control técnico del estado inicial del pozo antes de la intervención.

Figura 16

Medición inicial de resistencia en el pozo P-01 – Moyobamba



Nota. Determinación de la resistencia inicial del sistema de puesta a tierra P-01.

Tabla 5*Registro Inicial P-01 - Moyobamba*

SPAT	Medición	Hora	Observación
			-Se encontró bornera oxidada
P-01	10.69 Ω	11:00am	-Se utiliza pulpa fresca
			-Tierra en mal estado

Nota. Registro de las condiciones iniciales del pozo P-01, donde se observa una resistencia de 10,69 Ω , atribuida a la oxidación de la bornera y al mal estado del terreno.

Posteriormente, se realizó la excavación del sistema de puesta a tierra P-01, consiguiendo una profundidad aproximada de 50 cm alrededor de la varilla de cobre. Facilitó este procedimiento el acceso directo al electrodo y permitió acondicionar el terreno para la aplicación de los materiales de prueba, asegurando un adecuado contacto entre el relleno conductor y la superficie metálica del electrodo.

Figura 17*Excavación del sistema de puesta a tierra*

Nota. Excavación de 50 cm de profundidad en torno al electrodo de cobre para permitir la aplicación de los materiales de prueba.

Una vez expuesto el electrodo, se procedió a la implementación de pulpa de café fresca como material conductor alternativo. Para ello, se utilizaron dos baldes de 20 litros cada uno

(aproximadamente 10 kg por balde), los cuales fueron vertidos de manera circundante alrededor de la varilla de cobre. Esta disposición buscó mejorar la conductividad eléctrica del terreno, manteniendo un adecuado nivel de humedad en el entorno inmediato del electrodo.

Figura 18

Implementación de pulpa de café fresca



Nota. Aplicación de dos baldes de 20 litros (10 kg cada uno) de pulpa de café fresca alrededor del electrodo del pozo a tierra.

Como parte del procedimiento, se realizó la preparación de una mezcla de sal industrial disuelta en agua, utilizada para optimizar la conductividad del entorno inmediato del electrodo. La mezcla se preparó en tres baldes de 20 litros de agua, añadiendo 2 kg de sal en cada recipiente. Esta combinación buscó incrementar la ionización del suelo, favoreciendo el paso de corriente eléctrica y potenciando el desempeño del material aplicado.

Figura 19*Preparación de la mezcla de sal industrial*

Nota. Preparación en tres baldes de 20 litros de agua, cada uno con 2 kg de sal industrial disuelta.

Una vez preparada, la mezcla de sal industrial se vertió con cuidado en el interior del pozo a tierra, procurando que quedara distribuida de manera uniforme alrededor de la varilla de cobre. El objetivo de este procedimiento fue incrementar la conductividad del terreno, aprovechando la disolución iónica de la sal para mejorar la eficiencia del sistema de puesta a tierra.

Figura 20*Vertido de la mezcla de sal industrial*

Nota. Aplicación de la mezcla de sal industrial previamente preparada, vertida de manera uniforme alrededor del electrodo del pozo a tierra.

Tras la aplicación de los materiales conductores (pulpa de café fresca y mezcla de sal industrial) y el posterior relleno del pozo con tierra en condiciones adecuadas, se efectuó la medición final de la resistencia del sistema de puesta a tierra P-01 en Moyobamba. Los resultados mostraron una disminución significativa en los valores de resistencia, lo que confirma el efecto positivo de la intervención.

Con el propósito de complementar esta evidencia, en la Tabla 6 se presenta de manera sistemática el valor de resistencia obtenido, junto con la hora de la prueba y el cálculo del porcentaje de reducción respecto al estado inicial.

Figura 21

Medición final de resistencia en el pozo P-01 – Moyobamba



Nota. El pozo fue relleno con tierra en buen estado, excluyendo material inadecuado, lo que permitió realizar la medición final de resistencia.

Tabla 6

Registro final P-01 – Moyobamba

SPAT	Medición	Hora
P-01	1.97 Ω	16:30pm

Nota. Resultado final del pozo P-01, donde la resistencia disminuyó a 1.97 Ω , lo que representa una reducción del 81.57 % respecto a la medición inicial.

En el caso del pozo P-02, ubicado en Moyobamba, se realizó la medición inicial de la resistencia eléctrica utilizando un telurómetro digital calibrado, siguiendo el mismo

procedimiento de campo previamente descrito. El valor obtenido fue superior a $13\ \Omega$, lo que evidenció una resistencia elevada y, por tanto, la necesidad de aplicar materiales conductores experimentales para optimizar su desempeño.

La Tabla 6 complementa la Figura correspondiente y presenta de forma organizada los valores registrados, la hora de la medición y observaciones relevantes, como el estado de la pulpa utilizada en la intervención (semifresca).

Figura 22

Medición inicial de resistencia en el pozo P-02 – Moyobamba



Nota. Registro del valor inicial de resistencia del sistema P-02 en Moyobamba.

Tabla 7

Registro inicial P-02 – Moyobamba

SPAT	Medición	Hora	Observación
P-02	$13.46\ \Omega$	11:10am	-Pulpa semi fresca

Nota. El pozo P-02 presentó una resistencia de $13.46\ \Omega$ a las 11:10 a. m., valor considerado alto y que justifica la necesidad de intervención.

Luego de la medición inicial, se implementó la aplicación de pulpa de café semifresca en el pozo de puesta a tierra P-02. El material se distribuyó de manera uniforme alrededor de la varilla de cobre, buscando mejorar la conductividad del terreno circundante y reducir la

resistencia eléctrica. Esta intervención constituyó una etapa clave dentro del procedimiento experimental, orientado a comparar la eficacia de la pulpa de café frente a otras alternativas comerciales.

Figura 23

Implementación de pulpa de café semifresca en el pozo P-02 – Moyobamba



Nota. Se aplicaron dos baldes de 20 litros de pulpa semi fresca (aprox. 10 kg por balde), distribuidos en el interior del pozo a tierra.

Posteriormente, se procedió al vertido de la mezcla de sal industrial en el pozo P-02, como parte del procedimiento estandarizado para mejorar la conductividad del suelo. La sal, previamente disuelta en agua, se aplicó alrededor de la varilla de cobre y la pulpa de café semi fresca, asegurando una distribución homogénea que facilite el contacto directo con el electrodo. Este paso resulta clave para comparar la acción combinada de la pulpa de café con aditivos tradicionales en la reducción de resistencia eléctrica.

Figura 24

Vertido de la mezcla de sal industrial en el pozo P-02 – Moyobamba



Nota. Aplicación de la mezcla de sal industrial previamente preparada y vertida de manera uniforme en el interior del pozo a tierra.

Finalmente, se efectuó la medición final de resistencia en el pozo P-02, luego de la aplicación de la pulpa de café semi fresca y la mezcla de sal industrial. El procedimiento se llevó a cabo con el telurómetro digital calibrado, registrándose una reducción significativa respecto a la medición inicial. Estos resultados muestran la efectividad del material orgánico en combinación con aditivos tradicionales para optimizar la conductividad del terreno.

Figura 25

Medición final de resistencia en el pozo P-02 – Moyobamba



Nota. Evaluación final del sistema de puesta a tierra tras la intervención con pulpa de café semi fresca y mezcla de sal industrial.

Tabla 8

Registro final de resistencia del pozo P-02 – Moyobamba

SPAT	Medición	Hora
P-02	4.46 Ω	16:30pm

Nota. La medición arrojó un valor de 4.46 Ω a las 16:30 h, lo que representa una reducción porcentual del 66.86 % respecto a la resistencia inicial.

En el caso del pozo P-03 en Moyobamba, se efectuó la medición inicial de resistencia eléctrica con el telurómetro digital calibrado. Durante la inspección se evidenció la presencia de una bornera oxidada, lo que incidió en los valores obtenidos. Asimismo, se estableció que en esta intervención se emplearía pulpa de café seca como material conductor, con el fin de evaluar su desempeño comparativo frente a la pulpa fresca y semi fresca aplicadas en los pozos anteriores.

Figura 26

Medición inicial de resistencia del pozo P-03 – Moyobamba



Nota. Medición inicial del sistema de puesta a tierra correspondiente al pozo P-03.

Tabla 9*Registro inicial de resistencia del pozo P-03 – Moyobamba*

SPAT	Medición	Hora	Observación
P-03	6.62 Ω	11:20am	-Se encontró bornera oxidada -Se utiliza pulpa seca de café

Nota. Se registró una resistencia de 6.62 Ω a las 11:20 h. El estado oxidado de la bornera y el uso de pulpa seca de café se consideraron factores relevantes para la caracterización inicial.

Después de la medición inicial del pozo P-03 en Moyobamba, se realizó la intervención utilizando pulpa de café seca como material conductor. Esta elección respondió al interés de evaluar cómo influye el nivel de humedad del material orgánico en la capacidad de mejorar la conductividad del sistema de puesta a tierra. La pulpa seca se distribuyó de manera uniforme alrededor de la varilla de cobre, asegurando un contacto adecuado tanto con el electrodo como con el terreno circundante.

Figura 27*Implementación de pulpa de café seca en el pozo P-03 – Moyobamba*

Nota. Se aplicaron dos baldes de 20 litros de pulpa de café seca, con un peso aproximado de 10 kg cada uno, vertidos de forma uniforme en el pozo a tierra.

Posteriormente, y siguiendo el procedimiento estandarizado aplicado en todos los pozos intervenidos, se vertió en el pozo P-03 de Moyobamba la mezcla de sal industrial previamente

disuelta en agua. El objetivo de esta aplicación fue mejorar la conductividad eléctrica del terreno que rodea la varilla de cobre y, al mismo tiempo, potenciar el efecto de la pulpa de café seca utilizada en esta prueba.

Figura 28

Vertido de la mezcla de sal industrial en el pozo P-03 – Moyobamba



Nota. Se vertió la mezcla de sal industrial preparada previamente, garantizando su distribución uniforme alrededor del electrodo.

Tras la implementación de la pulpa de café seca y el posterior vertido de la mezcla de sal industrial en el pozo P-03 – Moyobamba, se procedió a realizar la medición final de la resistencia eléctrica. Este registro permitió evidenciar la variación lograda en comparación con la medición inicial, mostrando una reducción significativa en los valores de resistencia.

Figura 29

Medición final de la resistencia en el pozo P-03 – Moyobamba



Nota. Medición final del sistema de puesta a tierra tras la aplicación de los materiales conductivos.

Tabla 10

Registro Final P-03 - Moyobamba

SPAT	Medición	Hora
P-03	3.31 Ω	16:30pm

Nota. Utilizando el telurómetro se obtuvo una reducción porcentual de 50 % respecto al valor inicial.

En el pozo P-04, ubicado en Moyobamba, se efectuó la medición inicial de resistencia eléctrica utilizando un telurómetro digital calibrado. Durante la inspección se identificaron particularidades, como la presencia de una bornera oxidada, además de la decisión de aplicar pulpa de café tanto fresca como semifresca en etapas posteriores del tratamiento. La lectura inicial arrojó un valor elevado de resistencia, lo que puso en evidencia la necesidad de realizar la intervención.

Figura 30

Medición inicial de la resistencia en el pozo P-04 – Moyobamba



Nota. Resistencia del sistema P-04 en estado inicial.

Tabla 11

Registro inicial P-04 – Moyobamba

SPAT	Medición	Hora	Observación
P-04	8.10 Ω	11:20am	- Se encontró bornera oxidada - Se utiliza pulpa fresca - Se utiliza pulpa semi fresca

Fuente: Elaboración propia

Nota. El registro inicial del pozo número 4 mostró una resistencia elevada, lo que justifica la intervención experimental.

Figura 31

Implementación pulpa de café fresca y semi fresca



Nota. Dos baldes de 20 litros de pulpa de café fresca y semi fresca, con un peso de 10 kg por balde, los cuales fueron vertidos en el pozo a tierra.

Después de la realización de un vertido de pulpas frescas y semifrescas de café en el pozo P-04 de la ciudad de Moyobamba, se realiza el vertido de una mezcla de sal industrial

disuelta en agua, con el específico objetivo de aumentar la conductividad del suelo que rodea al electrodo, potenciando de este modo el efecto de la pulpa de café como material conductor alternativo. Y, dicho vertido de la mezcla se efectúa en forma uniforme alrededor de la varilla a fin de garantizar una adecuada impregnación del suelo.

Figura 32

Vertido de la mezcla de sal industrial en el pozo P-04 – Moyobamba



Nota. La sal industrial fue mezclada previamente en agua para garantizar una distribución homogénea en el pozo.

Después de aplicar la pulpa de café en estado fresco y semi fresco mezclada con sal industrial, se realizó la medición de resistencia, utilizando el telurómetro digital, una vez realizado el ensayo en el pozo P-04 - Moyobamba, para observar el efecto de la mezcla de ambos materiales aplicados, con el fin de mejorar la conductividad del sistema de puesta a tierra, observándose en los resultados una comprobación en la reducción de resistencia en comparación a los resultados iniciales de 5,43 Sami para el caso del pozo de tierra, utilizando el telurómetro digital, quedando como resultado una resistencia de 1,088 Sami, respecto del valor inicial.

Figura 33

Medición final de la resistencia en el pozo P-04 – Moyobamba



Nota. Medición final del sistema de puesta a tierra tras la aplicación de la pulpa de café y la mezcla de sal industrial.

Tabla 12

Registro Final P-04 - Moyobamba

SPAT	Medición	Hora
P-04	2.00 Ω	16:30pm

Nota. La reducción porcentual de resistencia fue del 75.30%, lo que demuestra la efectividad del tratamiento aplicado.

En el pozo P-05 – Moyobamba, se llevó a cabo la medición inicial de resistencia del sistema de puesta a tierra, utilizando el telurómetro calibrado digital. En la revisión, se constató que la bornera tenía señales de oxidación que podrían haber afectado el valor medido; así mismo, se programó la aplicación de pulpa de café en dos estados de conservación (fresca y seca) para contrastar su resultado en relación a las condiciones del terreno.

Figura 34

Medición inicial de la resistencia en el pozo P-05 – Moyobamba



Nota. Resistencia inicial del sistema P-05 antes de la intervención con materiales alternativos.

Tabla 13

Registro inicial P-05 – Moyobamba

SPAT	Medición	Hora	Observación
			- Se encontró bornera oxidada
P-05	6.72 Ω	11:20am	- Se utiliza pulpa fresca
			- Se utiliza pulpa seca

Nota. El registro del pozo número 5 arrojó una resistencia elevada, atribuida en parte al estado de la bornera y a las características del suelo.

Después de la medición inicial del pozo P-05 en Moyobamba, se implementó la aplicación de pulpa de café en dos estados: fresca y seca. El propósito fue evaluar si la combinación de ambas presentaciones podía mejorar la conductividad del terreno frente a la aplicación aislada de un solo estado de conservación. La pulpa se distribuyó de manera uniforme alrededor de la varilla de cobre, asegurando un contacto directo tanto con el electrodo como con el suelo circundante.

Figura 35

Implementación de pulpa fresca y seca en el pozo P-05 – Moyobamba



Nota. Se emplearon dos baldes de 20 litros de pulpa de café fresca y seca, con un peso aproximado de 10 kg por balde, aplicados de manera circundante al electrodo.

Después de aplicar la pulpa de café fresca y seca en el pozo P-05 de Moyobamba, se realizó el vertido de la mezcla de sal industrial previamente disuelta en agua para asegurar su adecuada homogenización. Este procedimiento tuvo como finalidad aumentar la conductividad iónica en el entorno inmediato de la varilla, contribuyendo a una reducción más significativa de la resistencia del sistema de puesta a tierra.

Figura 36

Vertido de mezcla de sal industrial en el pozo P-05 – Moyobamba



Nota. La mezcla de sal industrial fue preparada de manera previa y vertida en el pozo de forma uniforme alrededor del electrodo.

Luego de aplicar la pulpa de café en combinación con la mezcla de sal industrial en el pozo P-05 de Moyobamba, se efectuó la medición final de la resistencia eléctrica. Los

resultados mostraron una reducción considerable respecto al valor inicial, lo que confirmó la efectividad de la intervención al emplear tanto el material orgánico como las sales como agentes conductivos.

Figura 37

Medición final de resistencia en el pozo P-05 – Moyobamba



Nota. Medición final del sistema de puesta a tierra empleando telurómetro digital calibrado.

Tabla 14

Registro Final P-05

SPAT	Medición	Hora
P-05	2.91 Ω	16:30pm

Nota. La reducción porcentual alcanzada en el pozo P-05 fue de 56.69 %, confirmando la mejora en la conductividad tras la intervención.

En el pozo P-06 de Moyobamba se efectuó la medición inicial de la resistencia eléctrica antes de aplicar los materiales alternativos. El resultado arrojó un valor elevado de resistencia, lo que confirmó la necesidad de incorporar compuestos conductores como la pulpa de café y la mezcla de sal industrial. Durante esta etapa también se registraron observaciones importantes sobre el estado de la bornera y las condiciones iniciales del pozo.

Figura 38

Medición inicial de resistencia en el pozo P-06 – Moyobamba



Nota. Registro gráfico de la resistencia inicial del sistema P-06 mediante telurómetro digital.

Tabla 15

Registro Inicial P-06 - Moyobamba

SPAT	Medición	Hora	Observación
			- Se encontró bornera oxidada
P-06	7.07 Ω	11:20am	- Se utiliza pulpa de café semi fresca - Se utiliza pulpa seca de café

Nota. El pozo número 6 presentó una resistencia inicial de 7.07 Ω , considerada alta, lo que justifica la intervención con materiales alternativos.

Posteriormente, en el pozo P-06 de Moyobamba se implementó la aplicación del material conductor alternativo, utilizando pulpa de café en dos estados de conservación: semifresca y seca. El propósito de esta combinación fue evaluar si la mezcla de ambos tipos de pulpa contribuía a una mayor reducción de la resistencia eléctrica del sistema de puesta a tierra. El material se dispuso de manera circundante a la varilla, asegurando un contacto directo tanto con el electrodo como con el suelo.

Figura 39

Implementación de pulpa de café semi fresca y seca en el pozo P-06 – Moyobamba



Nota. Se emplearon dos baldes de 20 litros de pulpa de café semi fresca y seca, con un peso aproximado de 10 kg por balde, vertidos de manera uniforme en el pozo a tierra.

Tras la aplicación de la pulpa de café en el pozo P-06 de Moyobamba, la intervención se complementó con el vertido de la mezcla de sal industrial. Esta incorporación tuvo como objetivo aumentar la conductividad eléctrica del suelo y optimizar el rendimiento del sistema de puesta a tierra. La mezcla se distribuyó de forma uniforme alrededor de la varilla de cobre, asegurando una adecuada impregnación del terreno.

Figura 40

Vertido de mezcla de sal industrial en el pozo P-06 – Moyobamba



Nota. Se vertió la cantidad de sal industrial previamente mezclada en agua, asegurando una disolución adecuada para mejorar la conductividad del terreno.

Después de aplicar la pulpa de café en estado semifresca y seco, complementada con la mezcla de sal industrial, se realizó la medición final de resistencia del pozo P-06 en Moyobamba. Los resultados evidenciaron una mejora notable en el comportamiento eléctrico del sistema, con una reducción significativa de la resistencia en comparación con el valor inicial.

Figura 41

Medición final resistencia P-06 – Moyobamba



Nota. Medición final del sistema de puesta a tierra tras la intervención con pulpa de café y mezcla de sal industrial.

Tabla 16

Registro Final P-06 - Moyobamba

SPAT	Medición	Hora
P-06	3.59 Ω	16:30pm

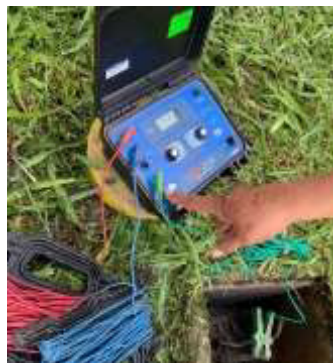
Nota. Utilizando el telurómetro se obtuvo una resistencia de 3.59 Ω , lo que representa una reducción porcentual de 49.22% respecto al valor inicial.

Antes de intervenir el pozo P-07 en Moyobamba, se realizó la medición inicial de la resistencia eléctrica utilizando un telurómetro digital. El valor registrado fue elevado, lo que confirmó la necesidad de aplicar materiales que mejoren la conductividad y optimicen el

desempeño del sistema. Para este caso, el pozo se preparó con el fin de implementar Thor Gel como material alternativo de comparación frente a la pulpa de café.

Figura 42

Medición Inicial Resistencia P-07 – Moyobamba



Nota. Resistencia inicial registrada en el sistema P-07, evidenciando condiciones desfavorables antes de la intervención.

Tabla 17

Registro inicial resistencia P-07 - Moyobamba

SPAT	Medición	Hora	Observación
P-07	17.78 Ω	11:20am	- Se encontró bornera oxidada - Se utiliza THORGEL

Nota. El registro inicial del pozo número 7 arrojó una resistencia alta, situación que justifica la aplicación de materiales correctivos para mejorar el desempeño eléctrico del sistema de puesta a tierra.

Después de la medición inicial del pozo P-07 en Moyobamba, se procedió a aplicar el material alternativo Thor Gel. Este producto, ampliamente utilizado en sistemas de puesta a tierra, fue previamente preparado disolviéndolo en tres baldes con 20 litros de agua cada uno, lo que aseguró una mezcla homogénea antes de verterlo en el pozo. Este paso resultó clave para garantizar que el material recubriera de manera uniforme la varilla y el entorno inmediato del electrodo, favoreciendo así una mejor conductividad del sistema.

Figura 43

Implementación de Thor Gel en el pozo P-07 – Moyobamba



Nota. Preparación de Thor Gel mediante disolución en tres baldes de 20 litros de agua cada uno, asegurando la uniformidad de la mezcla antes de su aplicación.

Con la mezcla de Thor Gel ya preparada, se procedió a verterla de manera circundante en el pozo de puesta a tierra P-07 de Moyobamba. El material se distribuyó uniformemente alrededor de la varilla de cobre, asegurando su contacto directo con el suelo. El propósito fue mejorar la conductividad del terreno y disminuir la resistencia del sistema. Esta fase fue esencial dentro de la metodología, ya que garantizó una adecuada distribución del producto y, en consecuencia, su efectividad en la optimización del pozo.

Figura 44

Vertido de la mezcla de Thor Gel en el pozo P-07 – Moyobamba



Nota. Aplicación de la mezcla de Thor Gel de manera circundante a la varilla de cobre, asegurando el contacto directo con el electrodo y el terreno.

Después de aplicar el Thor Gel en el pozo P-07 de Moyobamba, se realizó la medición final de la resistencia eléctrica del sistema de puesta a tierra. Esta evaluación permitió contrastar los resultados con los valores iniciales y comprobar el impacto real del material. El uso del telurómetro evidenció una reducción significativa en la resistencia, lo que confirma la efectividad del Thor Gel como material de mejora en este tipo de sistemas.

Figura 45

Medición final de la resistencia eléctrica en el pozo P-07 – Moyobamba



Nota. Evaluación del comportamiento final del sistema tras la aplicación de Thor Gel.

La Tabla 18 muestra los resultados finales del pozo intervenido, donde se evidencia la disminución de la resistencia medida con el telurómetro. Este registro es clave, ya que no solo cuantifica la mejora alcanzada, sino que también permite calcular el porcentaje de reducción en comparación con el valor inicial.

Tabla 18

Registro Final P-07 - Moyobamba

SPAT	Medición	Hora
P-07	4.71 Ω	16:30pm

Nota. El resultado muestra que la resistencia se redujo en un 73.51 %, lo que confirma la eficacia del Thor Gel aplicado en este pozo.

Previo a la siguiente figura, en la sede de Moyobamba se llevó a cabo la medición inicial de resistencia del pozo P-08, de acuerdo con la metodología de campo que se había utilizado

para los casos anteriores. Durante la inspección se pudo observar que la bornera presentaba un grado notable de oxidación que se tradujo en un valor elevado de resistencia. Esta condición constituyó una línea base para la posterior intervención en la que se aplicó cemento conductivo como material alternativo para contrastar su funcionamiento con la pulpa de café y el resto de las materias utilizadas en los casos anteriores.

Figura 46

Medición inicial de resistencia P-08 – Moyobamba



Nota. Resistencia del sistema P-08.

Tabla 19

Registro de medición inicial resistencia P-08 - Moyobamba

SPAT	Medición	Hora	Observación
P-08	16.20 Ω	11:20am	- Se encontró bornera oxidada - Se utiliza cemento inductivo

Nota. El registro del pozo número 8 evidenció una resistencia inicial alta, lo que justifica la necesidad de la intervención.

Una vez realizada la medición inicial, se aplicó el cemento conductivo en el pozo P-08 de Moyobamba. Para ello, el material fue preparado antes, diluyendo una bolsa en agua, tal y como se detalla en la instrucción del fabricante. Esta aplicación se realizó para mejorar la conductividad eléctrica del terreno circundante a la varilla, con el objetivo de tener un contacto homogéneo y persistente. También favoreció la comparación del cemento conductivo frente a la pulpa de café y el Thor Gel esos pozos.

Figura 47

Implementación de cemento conductivo – P-08 Moyobamba



Nota. Se disolvió una bolsa de cemento conductivo, la cual fue mezclada con 10 litros de agua antes de su aplicación.

Una vez lista la mezcla de cemento conductivo, se procedió a verterla en el pozo P-08 de Moyobamba. El material fue distribuido cuidadosamente de manera uniforme alrededor de la varilla de cobre, asegurando un contacto directo tanto con el electrodo como con el suelo circundante. Este procedimiento fue clave para garantizar la adecuada adherencia del compuesto y optimizar la conductividad del terreno en el área inmediata, siguiendo los protocolos estandarizados para la aplicación de este tipo de aditivos comerciales.

Figura 48

Vertido de mezcla de cemento conductivo – P-08 Moyobamba



Nota. Vertido controlado de la mezcla de cemento conductivo previamente preparada para su aplicación en el pozo a tierra.

Después de aplicar el cemento conductivo en el pozo P-08 de Moyobamba, se realizó la medición final de la resistencia eléctrica con el telurómetro digital. Los resultados reflejaron una disminución notable en la resistividad del sistema, lo que confirma la efectividad del material frente a las condiciones iniciales del pozo.

Figura 49

Medición final de la resistencia del sistema P-08 – Moyobamba



Nota. Medición final del sistema de puesta a tierra tras la aplicación de cemento conductivo.

Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla, donde se consigna el valor final de la resistencia junto con la hora de la medición. Esta información permitió calcular la reducción porcentual respecto al estado inicial, alcanzando un 77,83 %. El resultado confirma la mejora en la conductividad del sistema tras la intervención.

Tabla 20

Registro Final P-08 – Moyobamba

SPAT	Medición	Hora
P-08	3.59 Ω	16:30pm

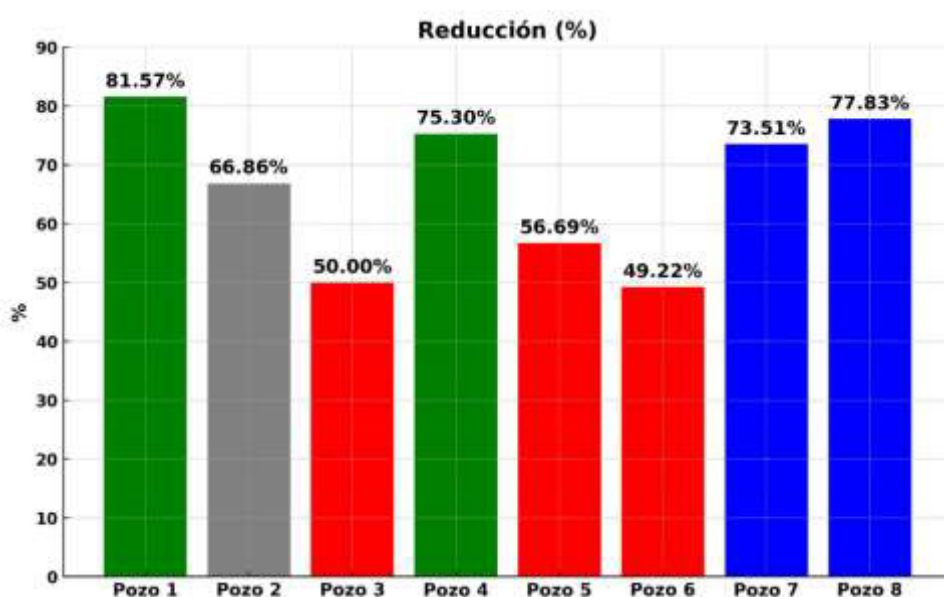
Nota. La medición final con telurómetro evidenció una reducción porcentual del 77.83% respecto al valor inicial.

Los resultados obtenidos en los ocho pozos evaluados en la ciudad de Moyobamba se resumen en la Figura 50, donde se muestra el porcentaje de reducción de la resistencia

alcanzado con los diferentes materiales aplicados. El Pozo 1 registró la mayor disminución (81,57 %), seguido del Pozo 8 (77,83 %), ambos con un desempeño destacado. Estos hallazgos confirman la efectividad de la pulpa de café fresca como material conductor alternativo, logrando en varios casos superar incluso a soluciones comerciales como el Thor Gel y el cemento conductivo.

Figura 50

Porcentaje de reducción de resistencia en los pozos a tierra.



Nota. Se muestra la reducción porcentual de resistencia de ocho pozos a tierra tras la implementación utilizando diferentes materiales.

A partir de este resultado, y dado el desempeño consistente de la pulpa de café fresca, se optó por utilizar únicamente este material en las demás ciudades evaluadas. Esto permitió establecer comparaciones directas con los materiales convencionales, como el Thor Gel y el cemento conductivo, y valorar con mayor precisión su efectividad.

3.5.1.1. Nueva Cajamarca – SUNARP. En la ciudad de Nueva Cajamarca se evaluaron tres pozos a tierra pertenecientes a la sede de la SUNARP. Para el ensayo se aplicó pulpa de café en estado fresco y se comparó su desempeño con materiales comerciales como Thor Gel y cemento conductivo.

- **P-01 y P-02:** Puesta a tierra de equipos electrónicos.
- **P-03:** Puesta a tierra para pararrayos.

Tabla 21

Pozos de Nueva Cajamarca – SUNARP

Material Utilizado	Resistencia Antes	Resistencia Después	Porcentaje Reducción
Pulpa de café	20.13	4.10	79.63%
Thor Gel	18.95	4.80	74.67%
Cemento C.	19.53	4.00	79.52%

Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos evidencian que la pulpa de café fresca logró una reducción de resistencia del 79.63 %, un valor prácticamente equivalente al alcanzado con el cemento conductivo (79.52 %) y superior al registrado con Thor Gel (74.67 %). Estos hallazgos respaldan la hipótesis de que la pulpa de café fresca puede funcionar como un material conductor alternativo en sistemas de puesta a tierra, ofreciendo un desempeño equiparable e incluso en algunos casos superior al de soluciones comerciales disponibles en el mercado.

3.5.1.2. Rioja – EsSalud. En la ciudad de Rioja se evaluaron tres pozos a tierra destinados a equipos electrónicos, equipos médicos y pararrayos. La comparación incluyó la aplicación de pulpa de café fresca, Thor Gel y cemento conductivo como materiales de mejora del sistema.

- **P-01:** Puesta a tierra de equipos electrónicos

- **P-02:** Puesta a tierra de equipos médicos.
- **P-03:** Puesta a tierra para pararrayos.

Tabla 22*Pozos de Rioja – EsSalud*

Material Utilizado	Resistencia Antes	Resistencia Después	Porcentaje Reducción
Pulpa de café	15.13	3.13	79.31%
Thor Gel	14.85	4.10	72.39%
Cemento C.	16.50	4.00	75.76%

Nota. Elaboración propia.

La aplicación de pulpa de café fresca permitió obtener una reducción de resistencia del 79.31 %, un valor superior al alcanzado con Thor Gel (72.39 %) y con cemento conductivo (75.76 %). Este resultado confirma que la pulpa de café fresca no solo es una opción eficaz desde el punto de vista técnico, sino que también se posiciona como una alternativa real frente a los materiales comerciales utilizados en sistemas de puesta a tierra.

3.5.1.3. Tarapoto – Corte Superior de Justicia. En la ciudad de Tarapoto se evaluaron cinco pozos de puesta a tierra, cada uno con funciones específicas de protección eléctrica. En estas pruebas se aplicó pulpa de café fresca, comparando su desempeño con materiales convencionales como Thor Gel y cemento conductivo. El objetivo fue identificar cuál de estas alternativas lograba una mayor reducción en la resistencia del sistema, garantizando así una protección más eficiente para los equipos eléctricos.

- P-01: Puesta a tierra para pararrayos.
- P-02 y P-03 y P04: Puesta a tierra de equipos electrónicos
- P-05: Puesta a tierra para grupo electrógeno.

Tabla 23*Resultados de resistencia en pozos de Tarapoto – Corte Superior de Justicia*

Material Utilizado	Resistencia Antes	Resistencia Después	Porcentaje Reducción
Pulpa de café	16.69	3.35	79.93%
Thor Gel	15.15	4.00	73.60%
Pulpa de café	15.45	3.00	80.58%
Thor Gel	16.50	4.30	73.94%
Cemento C.	16.55	3.50	78.85%

Nota. Elaboración propia.

Los resultados demuestran que la pulpa de café fresca remueve entre 79.93% y 80.58%, superando a Thor Gel (73.60% y 73.94%) y también al cemento conductivo (78.85%). Este comportamiento pone de manifiesto que la pulpa de café fresca no solo es igual a soluciones comerciales, sino que es también una alternativa viable y sostenible para mejorar la resistencia de los sistemas de puesta a tierra en diferentes instalaciones.

3.5.1.4. Lamas – EsSalud. En la ciudad de Lamas se evaluaron tres pozos a tierra con diferentes funciones de protección eléctrica. El objetivo fue contrastar el desempeño de la pulpa de café en estado fresco frente a soluciones comerciales como Thor Gel y cemento conductivo, determinando la reducción de resistencia alcanzada en cada caso.

- P-01: Puesta a tierra de equipos electrónicos.
- P-02: Puesta a tierra de equipos médicos.
- P-03: Puesta a tierra para pararrayos.

Tabla 24*Pozos de Lamas – EsSalud*

Material Utilizado	Resistencia Antes	Resistencia Después	Porcentaje Reducción
Pulpa de café	13.13	2.69	79.51%
Thor Gel	12.20	4.00	67.21.%
Cemento C.	14.15	2.90	79.51%

Nota. Elaboración propia.

Los resultados indican que la pulpa de café fresca alcanzó una reducción del 79.51%, rendimiento que iguala al cemento conductivo y supera ampliamente al Thor Gel (67.21%). Este hallazgo refuerza la solidez de la pulpa de café fresca como material alternativo de bajo costo y origen local, capaz de ofrecer un desempeño comparable a productos industriales en la mejora de los sistemas de puesta a tierra.

3.5.1.5. Juanjuí – Corte Superior de Justicia. En la ciudad de Juanjuí se evaluaron tres pozos a tierra con fines distintos, aplicando pulpa de café en estado fresco y comparando su desempeño con materiales comerciales como Thor Gel y cemento conductivo.

- P-01 y P-02: Puesta a tierra de equipos electrónicos
- P-03: Puesta a tierra para pararrayos

Tabla 25*Pozos de Juanjuí – SUNARP*

Material Utilizado	Resistencia Antes	Resistencia Después	Porcentaje Reducción
Pulpa de café	12.50	2.66	78.72%
Thor Gel	11.13	3.90	64.96%
Cemento C.	11.79	2.50	78.80%

Nota. Elaboración propia.

Los resultados evidencian que la pulpa de café fresca logró una reducción de resistencia del 78.72%, un desempeño prácticamente equivalente al del cemento conductor (78.80%) y claramente superior al obtenido con Thor Gel (64.96%). Este comportamiento confirma la estabilidad y competitividad de la pulpa de café fresca, posicionándola como una alternativa confiable y sostenible, capaz de igualar el rendimiento de materiales industriales en diversos contextos de aplicación.

3.5.1.6. Yurimaguas – EsSalud. En la ciudad de Yurimaguas se evaluaron tres pozos a tierra, aplicando pulpa de café en estado fresco y comparando su desempeño con materiales convencionales como Thor Gel y cemento conductor.

- **P-01:** Puesta a tierra de equipos electrónicos
- **P-02:** Puesta a tierra de equipos médicos.
- **P-03:** Puesta a tierra para pararrayos

Tabla 26

Resultados de resistencia en pozos de Yurimaguas – EsSalud

Material Utilizado	Resistencia Antes	Resistencia Después	Porcentaje Reducción
Pulpa de café	15.15	3.40	77.56%
Thor Gel	13.50	4.13	69.41%
Cemento C.	14.80	3.50	76.35%

Nota. Elaboración propia.

Los resultados evidencian que la pulpa de café fresca alcanzó una reducción del 77.56%, superando tanto al cemento conductor (76.35%) como al Thor Gel (69.41%). Este desempeño confirma la consistencia y eficacia de la pulpa de café como un material alternativo confiable, capaz de mantener su estabilidad en distintas condiciones y competir de manera efectiva frente a soluciones industriales.

3.5.1.7. Tocache – SUNARP. En la ciudad de Tocache, se evaluaron dos pozos a tierra, destinados a equipos electrónicos y a un sistema de pararrayos. En ambos casos se aplicó pulpa de café en estado fresco y se comparó su desempeño con Thor Gel y cemento conductivo.

- **P-01:** Puesta a tierra de equipos electrónicos
- **P-02:** Puesta a tierra para pararrayos

Tabla 27

Pozos de Tocache - SUNARP

Material Utilizado	Resistencia Antes	Resistencia Después	Porcentaje Reducción
Pulpa de café	10.14	2.30	77.32%
Cemento C.	10.50	2.40	77.14%

Nota. Elaboración propia.

Los resultados muestran que la pulpa de café fresca alcanzó una reducción del 77.32 %, un valor prácticamente equivalente al logrado con el cemento conductivo (77.14 %). Esta mínima diferencia demuestra que la pulpa de café no solo ofrece un rendimiento similar al de materiales comerciales ampliamente utilizados, sino que además se consolida como una alternativa sostenible y de bajo costo, capaz de garantizar la eficiencia de los sistemas de puesta a tierra en diversas aplicaciones.

3.5.1.8. Bellavista – EsSalud. En la ciudad de Bellavista se evaluaron tres pozos a tierra destinados a la protección de equipos electrónicos, equipos médicos y un sistema de pararrayos. La intervención consistió en la aplicación de pulpa de café fresca, comparando su desempeño frente a materiales convencionales como el Thor Gel y el cemento conductivo.

- **P-01:** Puesta a tierra de equipos electrónicos
- **P-02:** Puesta a tierra de equipos médicos.

- **P-03:** Puesta a tierra para pararrayos

Tabla 28*Pozos de Bellavista - EsSalud*

Material Utilizado	Resistencia Antes	Resistencia Después	Porcentaje Reducción
Pulpa de café	12.13	2.65	78.15%
Thor Gel	12.78	3.50	72.61%
Cemento C.	12.50	2.82	77.44%

Nota. Elaboración propia.

Los resultados muestran que la pulpa de café fresca alcanzó una reducción del 78.15 %, superando al Thor Gel (72.61 %) y situándose ligeramente por encima del cemento conductor (77.44 %). Este hallazgo evidencia que la pulpa de café no solo puede igualar, sino incluso superar el desempeño de materiales convencionales, reforzando su potencial como una alternativa técnica eficiente, económica y ambientalmente sostenible.

3.5.1.9. Picota – Poder Judicial. En la ciudad de Picota se evaluaron tres pozos a tierra, de los cuales dos estuvieron destinados a equipos electrónicos y uno a un sistema de pararrayos. La metodología aplicada consistió en el uso de pulpa de café fresca, contrastando su rendimiento con materiales comerciales como el Thor Gel y el cemento conductor.

- **P-01 y P-02:** Puesta a tierra de equipos electrónicos
- **P-03:** Puesta a tierra para pararrayos

Tabla 29*Pozos de Picota – Poder Judicial*

Material Utilizado	Resistencia Antes	Resistencia Después	Porcentaje Reducción
Pulpa de café	13.44	2.89	78.49%
Thor Gel	12.90	3.80	70.54%
Cemento C.	13.13	3.51	77.22%

Nota. Elaboración propia.

Los resultados evidencian que la pulpa de café fresca alcanzó una reducción del 78.49 %, superando al cemento conductivo (77.22 %) y mostrando una diferencia aún más marcada frente al Thor Gel (70.54 %). Este desempeño reafirma la capacidad de la pulpa fresca para mejorar la conductividad del terreno y optimizar la disipación de corrientes de falla, consolidándola como una alternativa confiable, eficiente y sostenible en sistemas de puesta a tierra.

3.5.1.10. Uchiza – SUNARP. En la ciudad de Uchiza se evaluaron tres pozos a tierra, de los cuales dos estuvieron destinados a equipos electrónicos y uno a un sistema de pararrayos. En todos los casos se aplicó pulpa de café fresca, comparando su rendimiento frente a materiales comerciales como el Thor Gel y el cemento conductivo.

- **P-01 y P-02:** Puesta a tierra de equipos electrónicos
- **P-03:** Puesta a tierra para pararrayos

Tabla 30*Pozos de Uchiza - SUNARP*

Material Utilizado	Resistencia Antes	Resistencia Después	Porcentaje Reducción
Pulpa de café	15.58	3.10	80.10%
Thor Gel	15.10	3.60	76.16%
Cemento C.	15.60	3.03	80.58%

Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en Uchiza evidencian que la pulpa de café fresca alcanzó una reducción de resistencia del 80.10 %, superando al Thor Gel (76.16 %) y situándose prácticamente al mismo nivel que el cemento conductivo (80.58 %). Este hallazgo no solo confirma la eficacia técnica de la pulpa fresca, sino que también refuerza su condición de alternativa viable, económica y ambientalmente sostenible frente a los materiales comerciales utilizados en sistemas de puesta a tierra.

3.6. Procedimientos

En términos generales, los ensayos de campo realizados en Moyobamba, Nueva Cajamarca, Rioja, Tarapoto, Lamas, Juanjuí, Yurimaguas, Tocache, Bellavista, Picota y Uchiza permitieron evaluar y comparar el desempeño de distintos materiales aplicados a los sistemas de puesta a tierra. Los resultados mostraron que la pulpa de café fresca mantuvo un rendimiento estable y competitivo frente a soluciones comerciales como el Thor Gel y el cemento conductivo, alcanzando reducciones significativas en la resistencia eléctrica de los pozos analizados.

Para completar la información técnica, se elaboró y se adjuntó un cuestionario validado de tipo escales Likert para evaluar la satisfacción de los usuarios con el sistema ya implementado, el cual permite medir la percepción de fallos, la continuidad del servicio, la disponibilidad del equipo, triangulando así los datos técnicos (resistencia en ohmios) con los datos prácticos (percepción y satisfacción), por lo que también fortalece la validez del análisis.

Adicionalmente, la sistematización de los datos en tablas e ilustraciones permitió documentar claramente las mediciones iniciales y finales y facilitar las comparaciones entre ciudades y tipos de instalaciones. Esta sinopsis da cuenta del comportamiento de los materiales evaluados y establece las condiciones para el análisis pormenorizado expuesto en la siguiente sección.

3.7. Método de Análisis de Datos

3.7.1 *Análisis eléctrico de resistividad del terreno*

El método de Wenner, que en el ámbito científico es conocido por su elevado grado de precisión en el cálculo de la resistividad aparente del terreno; de tal forma que su implementación es fundamental para conocer el comportamiento eléctrico del terreno, cuestión de vital importancia para el diseño, cálculo y modelado de los sistemas de puesta a tierra es el método que se utilizó para la evaluación de las propiedades eléctricas del suelo.

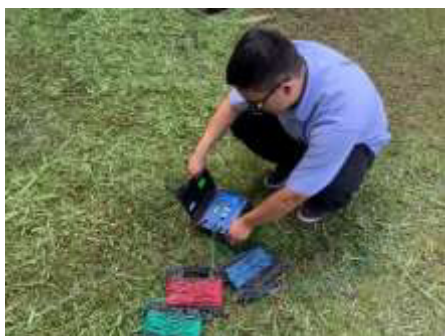
Las mediciones se llevaron a cabo con un telurómetro digital, equipo que permite registrar directamente la resistencia eléctrica del terreno en ohmios (Ω). A partir de estos valores, se aplicó la fórmula de Wenner, con la cual se obtuvo la resistividad del suelo (ρ), expresada en ohm·metro ($\Omega\cdot m$).

En este trabajo se ha trabajado con la condición $b = 0$, que resulta ser cuando la profundidad de los electrodos es muy pequeña respecto a la distancia que los separa; y esta simplificación al ser ampliamente utilizado como lema en los trabajos de resistividad de superficie; se utilizó de una manera práctica la fórmula estándar del método de Wenner sin comprometer la fiabilidad de los resultados.

Antes de calcular la resistividad, era necesario conectar los cuatro electrodos al telurómetro con el esquema que establece el método de Wenner, puesto que tal disposición garantiza que las mediciones que se efectúan sean representativas de la forma eléctrica del terreno, de modo que conviene destacar que el correcto trabajo de los cables y electrodos es importante, ya que cualquier error en la instalación puede alterar los resultados que se analicen.

Figura 51

Conexión de los cuatro electrodos al telurómetro - Moyobamba



Nota. La conexión se realizó asegurando la alineación de los electrodos en línea recta y con distancias uniformes, garantizando así la validez de la medición.

3.7.2. Direcciones de medición

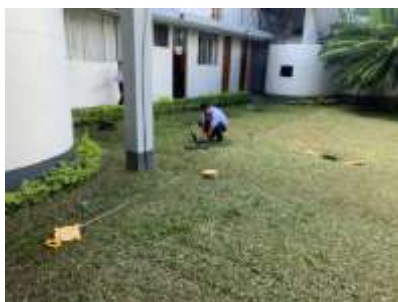
Con el objetivo de analizar la posible estratificación del terreno, se realizaron mediciones en dos ejes ortogonales:

- Eje Horizontal (H)
- Eje Vertical (V)

Para cada dirección se efectuaron lecturas a tres diferentes distancias entre electrodos (1 m, 2 m y 3 m). Este procedimiento permitió evaluar cómo varía la resistividad conforme aumenta la profundidad efectiva del terreno, lo cual resulta fundamental para estimar el desempeño de los sistemas de puesta a tierra.

Figura 52

Medición utilizando el método de Werner – Moyobamba



Nota. Elaboración propia.

Tabla 31*Resistencia eléctrica y resistividad del suelo*

Distancia (m)	$R(\Omega) - H$	$\rho (\Omega.m) - H$	$R(\Omega) - V$	$\rho (\Omega.m) - V$
1	30.13	189.31	29.50	185.35
2	25.55	321.07	24.80	311.65
3	20.78	391.69	19.90	375.11

Nota. Elaboración propia.

En total, se obtuvieron seis valores de resistividad aparente (ρ) mediante el método de Wenner: tres en dirección horizontal y tres en dirección vertical. Estas mediciones, realizadas con separaciones de 1 m, 2 m y 3 m, permitieron observar cómo varía la respuesta eléctrica del terreno en función de la geometría de la prueba.

Con el propósito de representar de manera más clara el comportamiento del suelo, se elaboró una matriz de resistividad en formato de cuadrícula 3×3 . Este procedimiento se basa en la interpolación y el promedio de los datos reales, lo que facilita simular la distribución de la resistividad en diferentes puntos del terreno. Es importante precisar que esta matriz constituye una herramienta de análisis, ya que en condiciones de campo no siempre es posible realizar mediciones físicas en cada ubicación

Como ejemplo, el cálculo para el punto (H1, V1) se obtuvo promediando los valores horizontales y verticales de la primera distancia:

$$\text{Punto (H1, V1): } \rho = (189.31 + 185.35) / 2 = 187.33 \Omega \cdot m$$

$$\text{Punto (H1, V2): } \rho = (189.31 + 311.65) / 2 = 250.48 \Omega \cdot m$$

$$\text{Punto (H3, V3): } \rho = (391.69 + 375.11) / 2 = 383.40 \Omega \cdot m$$

Tabla 32*Resistividad del suelo en nueve puntos - Moyobamba*

	V1 (185.35)	V2 (311.65)	V3 (375.11)
H1 (189.31)	187.33 $\Omega\cdot m$	250.48 $\Omega\cdot m$	282.21 $\Omega\cdot m$
H2 (321.07)	253.21 $\Omega\cdot m$	316.36 $\Omega\cdot m$	348.09 $\Omega\cdot m$
H3 (391.69)	388.52 $\Omega\cdot m$	351.37 $\Omega\cdot m$	383.40 $\Omega\cdot m$

Nota. Este análisis permitió identificar la variación espacial de la resistividad y anticipar cómo estas diferencias pueden impactar en el desempeño eléctrico de los sistemas de puesta a tierra.

Figura 53*Script en Matlab para simulación 3D de la resistividad del suelo*

```

1 % SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE RESISTIVIDAD DEL SUELO
2 % Cuadrícula 3x3 con datos de medición horizontales y verticales
3
4 % -----
5 % 1. MATRIZ DE RESISTIVIDAD ( $\Omega\cdot m$ )
6 %
7 % Promedio entre lecturas horizontales (H) y verticales (V)
8 resistividad = [
9     187.3, 250.5, 282.2;
10    253.2, 316.4, 348.0;
11    388.5, 351.4, 383.4
12 ];
13
14 % -----
15 % 2. COORDENADAS X Y PARA MALLA
16 %
17 x = 1:3; % eje horizontal
18 y = 1:3; % eje vertical
19 [X, Y] = meshgrid(x, y); % genera la cuadrícula 3x3
20
21 % -----
22 % 3. GRÁFICO DE SUPERFICIE 3D
23 %
24 figure;
25 surf(X, Y, resistividad);
26 title('Mapa 3D de Resistividad del Suelo ( $\Omega\cdot m$ )');
27 xlabel('Eje Horizontal (H)');
28 ylabel('Eje Vertical (V)');
29 zlabel('Resistividad Aparente ( $\Omega\cdot m$ )');
30 colorbar;
31 grid on;
32 shading interp; % suaviza la superficie
33
34 % -----
35 % 4. OPCIONAL: Vista desde arriba
36 %
37 figure;
38 imagesc(resistividad);
39 title('Mapa de Calor 2D de Resistividad del Suelo');
40 xlabel('Eje Horizontal (H)');
41 ylabel('Eje Vertical (V)');
42 colorbar;
43 axis equal tight;

```

Nota. El script desarrollado en Matlab genera dos representaciones complementarias: una superficie tridimensional (3D), que permite observar de manera espacial cómo se distribuye

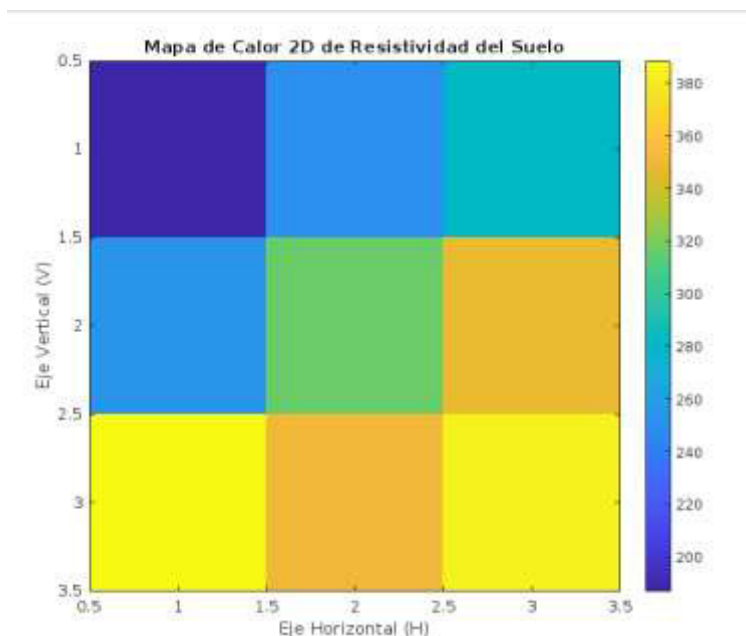
la resistividad en función de los ejes horizontal (H) y vertical (V); y un mapa bidimensional (2D) de calor, que refuerza la interpretación visual de los resultados.

Esta simulación se convierte en una herramienta valiosa, pues permite comprender con mayor claridad el perfil resistivo del terreno y cómo este influye en la eficiencia de los sistemas de puesta a tierra. Al mismo tiempo, brinda un sustento técnico que respalda la utilización de materiales conductivos naturales, como la pulpa de café, para mejorar la conductividad del suelo.

Otro aspecto importante es que el script empleado tiene un carácter replicable y adaptable: basta con actualizar los datos de entrada para ajustarlo a nuevas ubicaciones. De esta manera, se presenta como una herramienta flexible y escalable, con gran potencial para apoyar futuros estudios en distintos contextos.

Figura 54

Mapa de calor Resistividad del suelo



Nota. Elaboración propia.

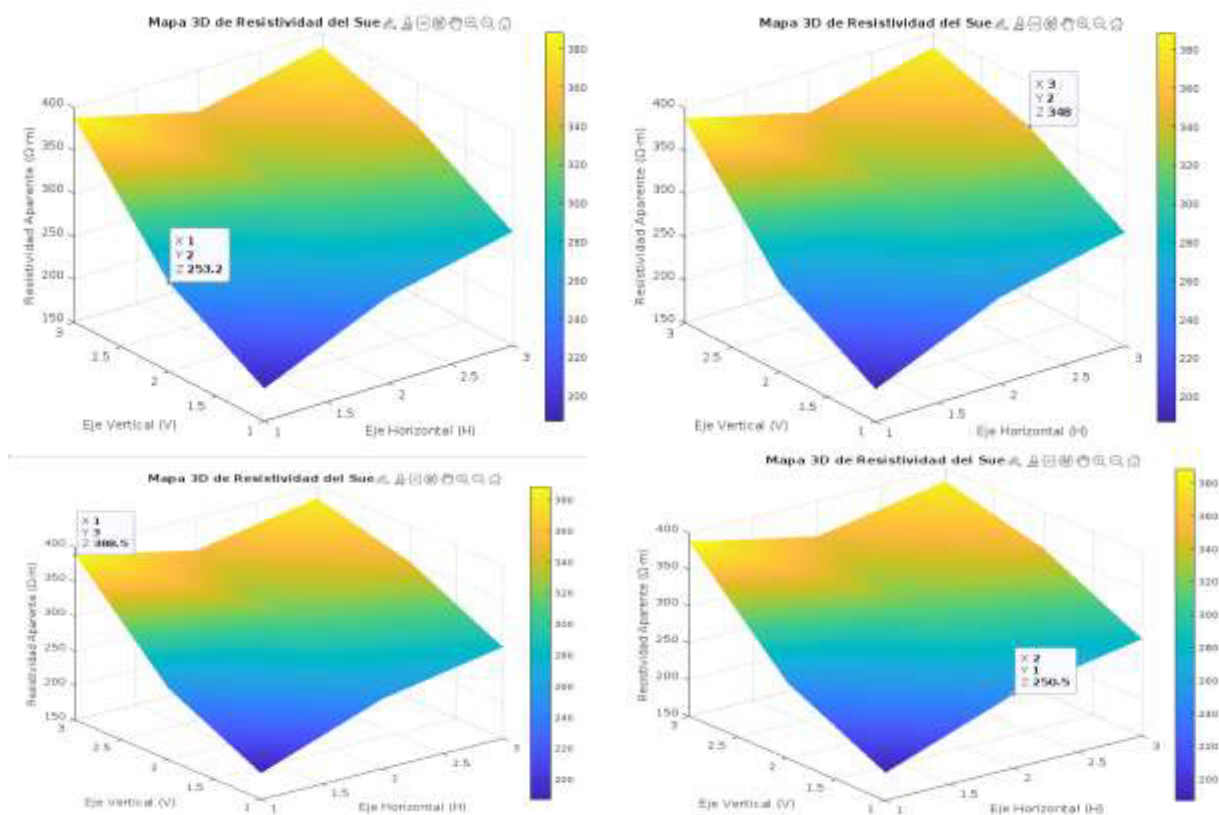
Leyenda:

- Los colores oscuros (azules/violetas) representan zonas con baja resistividad, lo cual favorece una mejor conducción eléctrica.
- Los colores cálidos (amarillos/naranjas) corresponden a áreas con alta resistividad, indicando mayor dificultad del terreno para conducir la corriente eléctrica.
- El gradiente de colores permite visualizar la variación espacial de la resistividad, lo que facilita identificar zonas óptimas y áreas críticas para la instalación de sistemas de puesta a tierra.

Este tipo de representación gráfica resulta especialmente útil porque traduce los valores numéricos en una imagen intuitiva, ayudando a comprender de manera más clara la heterogeneidad del terreno y su influencia en el desempeño eléctrico de las instalaciones.

Figura 55

Superficie 3D de la resistividad del suelo



Nota: La figura muestra una simulación tridimensional del comportamiento de la resistividad del terreno. Esta representación gráfica facilita la comprensión visual de cómo varían las propiedades eléctricas en el subsuelo y ofrece una base sólida para decidir la ubicación y el tratamiento más adecuados del sistema de puesta a tierra. Además, la visualización 3D complementa el análisis numérico, aportando una interpretación más clara y accesible de los resultados.

3.7.3 Análisis transitorio del sistema de puesta a tierra

Para analizar el comportamiento transitorio del sistema de puesta a tierra con pulpa de café, se empleó un circuito equivalente RLC en serie. Esta elección responde a que, durante una falla eléctrica, la corriente circula de manera secuencial por los distintos componentes del sistema: la resistencia del suelo, la inductancia del conductor de bajada y la capacitancia hacia tierra. De esta forma, el modelo en serie refleja de manera más realista el trayecto de la corriente desde el equipo hasta el pozo de tierra. Además, este enfoque permite estudiar con mayor claridad la respuesta de voltaje y corriente frente a perturbaciones, lo que resulta clave para evaluar la eficiencia del sistema en la disipación de energía y la protección de los equipos electrónicos conectados.

Figura 56

Respuesta transitoria en un circuito RLC

```

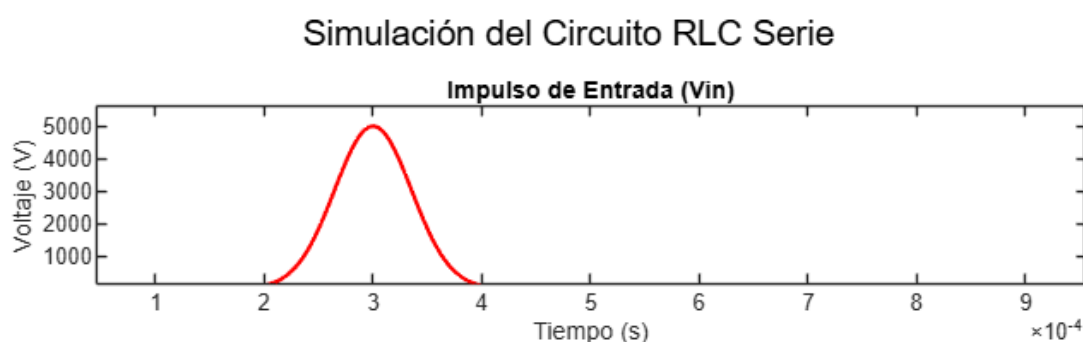
1 % Parámetros del circuito
2 R = 0.1; % Resistencia en ohmios
3 L = 200e-6; % Inductancia en henrios
4 C = 100e-9; % Capacitancia en faradios
5
6 % Tiempo de simulación
7 t = linspace(0, 0.001, 1000);
8 dt = 0.0001;
9 n = 1000; % Número de puntos de muestreo
10
11 % Ecuación de entrada
12 vin_interp = @(t) 100 * exp(-i * t) * exp(i * 2 * pi * 50 * t); % Pulso gaussiano
13
14 % Sistema de ecuaciones diferenciales
15 r = zeros(3, 1);
16 r(1) = -vin_interp(t) + R * r(1) + L * diff(r(1), t) + 1/C * int(r(1), t);
17 r(2) = r(1);
18 r(3) = r(2);
19
20 % Condiciones iniciales
21 r0 = [0; 0; 0];
22
23 % Resolver sistema
24 [t_sol, r_sol] = ode45(r, t, r0);
25
26 % Extraer resultados
27 I = r_sol(:, 1);
28 V = r_sol(:, 2);
29
30 % Graficar resultados
31 figure;
32 subplot(2,1,1);
33 plot(t, V, 'b', 'LineWidth', 2);
34 title('Voltaje en el capacitor (V)');
35 xlabel('Tiempo (s)');
36 ylabel('Voltaje (V)');
37
38 subplot(2,1,2);
39 plot(t, I, 'r', 'LineWidth', 2);
40 title('Corriente en el circuito (A)');
41 xlabel('Tiempo (s)');
42 ylabel('Corriente (A)');
43
44 legend('Voltaje en el capacitor', 'Corriente en el circuito');
45

```

Nota: El script desarrolla una simulación del comportamiento transitorio de un circuito RLC en serie sometido a un impulso gaussiano de 5000 V, que emula una sobretensión o una descarga similar a un rayo. Para este análisis se empleó el método numérico ode45, especializado en la resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias. Gracias a esta simulación fue posible observar cómo el sistema de puesta a tierra logra atenuar y disipar la energía de la perturbación, un aspecto fundamental para asegurar la protección de equipos electrónicos sensibles en instituciones y entornos críticos.

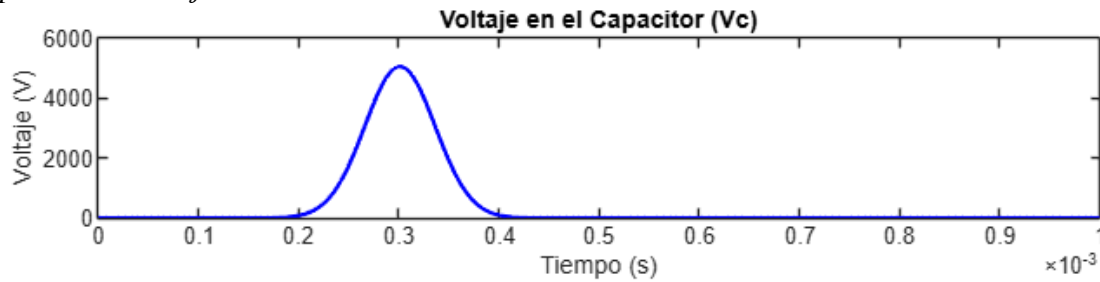
Figura 57

Respuesta transitoria

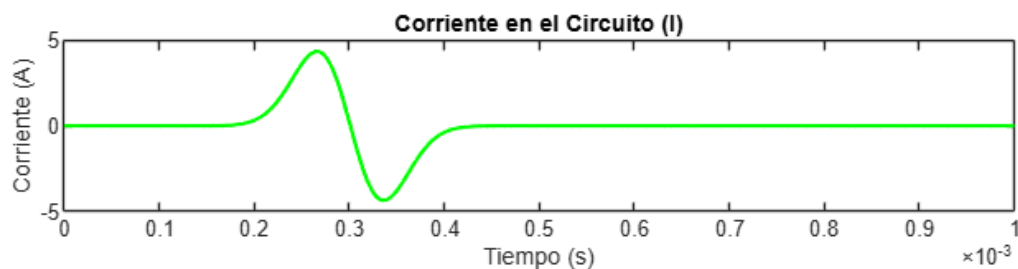


Nota. Elaboración propia.

El gráfico presenta la respuesta de un circuito RLC en serie frente a un pulso de voltaje de corta duración, empleado para simular un evento transitorio como una descarga atmosférica (rayo) o una sobretensión repentina. El impulso aplicado, de 5000 V, funciona como excitación del sistema y permite analizar su comportamiento dinámico en condiciones críticas. Esta simulación representa de manera aproximada el efecto que una perturbación eléctrica tendría sobre un sistema de puesta a tierra, destacando la importancia de evaluar su capacidad de disipar energía y de proteger equipos electrónicos sensibles.

Figura 58*Respuesta de voltaje**Nota.* Elaboración propia.

El gráfico ilustra cómo transcurre el voltaje en el capacitor posterior a la aplicación del supuesto impulso de entrada. Esta curva en forma de campana, ilustrada en el gráfico, evidenció la carga y descarga del capacitor, lo que es propio de los circuitos formados por RLC. Tal comportamiento indicaría que una parte de la energía del pulso transitorio se almacena temporalmente en el capacitor y luego se libera. En el caso de los sistemas de puesta a tierra, esta condición muestra que el sistema es capaz de aceptar picos de voltaje y con ello proteger los equipos electrónicos que se conecten.

Figura 59*Respuesta de la corriente**Nota.* Elaboración propia.

El gráfico muestra cómo evoluciona la corriente inducida en el circuito RLC tras la aplicación del impulso de entrada. Las oscilaciones amortiguadas reflejan una respuesta transitoria típica, donde la corriente disminuye gradualmente a medida que la energía del pulso se disipa en las resistencias y se distribuye entre los distintos elementos del circuito. Este

comportamiento resulta clave para entender cómo un sistema de puesta a tierra contribuye a disipar las sobretensiones, minimizando su efecto sobre los equipos electrónicos conectados.

3.7.4 Pruebas estadísticas

Para evaluar la significancia estadística de los cambios observados en los indicadores clave sobre el número de fallas, vida útil del equipo, continuidad del servicio y resistencia eléctrica, antes y después de la implementación del sistema de puesta a tierra con pulpa de café, se realizó la prueba de t de Student para muestras pareadas.

Se verificó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk, obteniendo valores de $w > 0.95$ y $p > 0.05$ en todos los casos, lo que indica que los datos siguen una distribución normal, permitiendo el uso de pruebas paramétricas. Se aplicó la prueba de t pareada para comparar las medias de los indicadores antes y después de la intervención en cada una de las variables de interés.

3.8. Consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolla siguiendo la normativa y estructura vigente para proyectos de tesis de la Universidad Nacional Federico Villarreal. Asimismo, asegura la plena autenticidad de la información y los datos utilizados a lo largo del estudio. El autor se compromete a cumplir de manera estricta con los lineamientos éticos establecidos por la institución.

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados obtenidos

En relación con la eficiencia de la protección de los equipos electrónicos, los resultados evidencian una reducción significativa en los costos de reparación y mantenimiento luego de la implementación del sistema de puesta a tierra con pulpa de café.

El análisis comparativo de los costos de reparación antes y después de la intervención, presentado en la Tabla 35, muestra que la disminución del número de fallas electrónicas permitió reducir los gastos asociados a la reparación y reemplazo de equipos.

En términos económicos, el sistema de puesta a tierra con pulpa de café generó un ahorro anual significativo, evidenciando que la solución propuesta no solo es eficaz desde el punto de vista técnico, sino también eficiente desde el punto de vista económico.

Tabla 33

Clasificación de fallas electrónicas según su relación con el sistema de puesta a tierra

Tipo de falla electrónica	Relación con SPT	Considerada en el análisis
Daño en fuente de poder	Sí	Sí
Reinicio por sobretensión	Sí	Sí
Placa electrónica dañada	Sí	Sí
Fallas por descarga atmosférica	Sí	Sí
Corriente de fuga	Sí	Sí
Cortocircuito interno	No	No
Fallas de software	No	No
Daño mecánico	No	No
Obsolescencia del equipo	No	No

Nota. Elaboración propia.

Las fallas electrónicas fueron clasificadas según su relación con el sistema de puesta a tierra, considerándose para el análisis principal únicamente aquellas asociadas a transitorios eléctricos, sobretensiones y corrientes de fuga.

Tabla 34

Caracterización de equipos electrónicos por entidad y área funcional

Entidad	Área funcional	Tipos de equipos electrónicos evaluados	Nivel de criticidad
Poder Judicial	Informática	PCs, CPUs, monitores, impresoras, servidor	Alta
Poder Judicial	Contabilidad	PCs, impresoras	Media
Poder Judicial	Juzgados	PCs, impresoras, sistemas de audio	Media
SUNARP	Informática	PCs, impresoras, servidor	Alta
SUNARP	Registros	PCs, impresoras	Media
ESSALUD	Equipos médicos	Equipos médicos electrónicos, monitores	Muy alta
ESSALUD	Informática	PCs, servidores, UPS	Alta
ESSALUD	Registro	PCs, impresoras	Media

Nota. Elaboración propia.

Impacto del sistema de puesta a tierra con pulpa de café en la protección de equipos electrónicos por ciudad (2023). Los valores corresponden a promedios por ciudad, obtenidos de los pozos evaluados y registros de fallas antes y después de la implementación.

Tabla 35*Tabla Consolidada por Ciudad – Protección de Equipos Electrónicos*

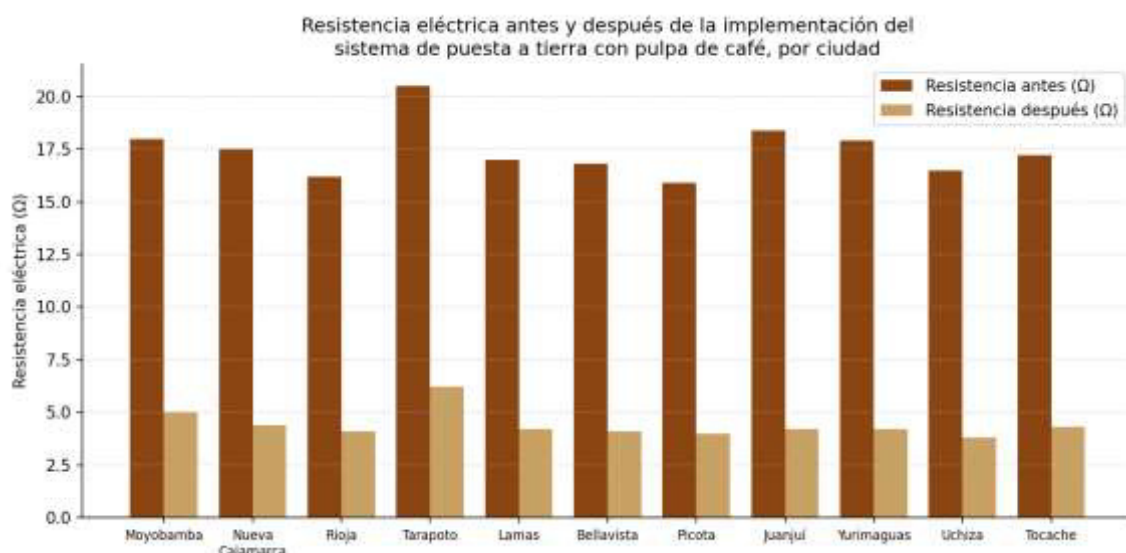
Ciudad	Pozos evaluados	Resistencia antes (Ω)	Resistencia después (Ω)	Reducción R (%)	Fallas antes (año)	Fallas después (año)	Reducción fallas (%)	Costo antes (S/ año)	Costo después (S/ año)	Ahorro anual (S/)
Moyobamba	8	18.0	5.0	72.2%	250	62	75.2%	10000	2480	7520
Nueva Cajamarca	3	17.5	4.4	74.9%	60	15	75.0%	5000	1250	3750
Rioja	3	16.2	4.1	74.7%	80	20	75.0%	6500	1625	4875
Tarapoto	5	20.5	6.2	69.8%	280	70	75.0%	13000	3250	9750
Lamas	3	17.0	4.2	75.3%	53	13	75.47%	7500	1840	5660
Bellavista	3	16.8	4.1	75.6%	53	13	75.47%	5500	1350	4150
Picota	2	15.9	4.0	74.8%	36	9	75.0%	4800	1200	3600
Juanjuí	3	18.4	4.2	77.2%	39	9	76.92%	4500	1038	3462
Yurimaguas	3	17.9	4.2	76.5%	47	11	76.60%	5100	1194	3906
Uchiza	3	16.5	3.8	77.0%	13	3	76.92%	3000	692	2308
Tocache	2	17.2	4.3	75.0%	16	4	75.0%	3500	875	2625

Nota. Elaboración propia.

Los resultados consolidados muestran que la aplicación del sistema de puesta a tierra con pulpa de café permitió una reducción promedio superior al 70 % en la resistencia eléctrica, lo cual se relaciona directamente con una disminución significativa de las fallas electrónicas y de los costos de reparación de los equipos. Esto evidencia que la mejora del sistema de puesta a tierra contribuye de manera efectiva a la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas evaluada.

Figura 60

Resistencia eléctrica antes y después de la implementación del sistema de puesta a tierra con pulpa de café, por ciudad



Nota. Elaboración propia.

El gráfico permite visualizar que, en todas las ciudades evaluadas, la resistencia eléctrica del sistema de puesta a tierra disminuyó de forma marcada tras la implementación de la pulpa de café como material conductor, ubicándose los valores posteriores por debajo del límite máximo permitido (25Ω) establecido por la normativa vigente. Tarapoto y Moyobamba, que presentaron las resistencias iniciales más altas, registraron también las reducciones más notorias en términos absolutos, mientras que ciudades como Picota y Uchiza alcanzaron los

valores finales más bajos, evidenciando un comportamiento consistente del sistema propuesto en distintos contextos geográficos.

Tabla 36

Resistencia promedio, mínima, máxima registrada y condición operativa de equipos electrónicos

Indicador	Antes de la implementación	Después de la implementación	Variación
Resistencia promedio del sistema (Ω)	18.5	5.2	- 71.9 %
Resistencia mínima registrada (Ω)	12.0	3.1	Mejora
Resistencia máxima registrada (Ω)	26.8	8.4	Mejora
Condición operativa de equipos electrónicos	Inestable	Estable	Mejora

Nota. Los valores promedio se obtuvieron a partir de las mediciones realizadas en los sistemas de puesta a tierra de las entidades públicas evaluadas antes y después de la implementación del material conductor a base de pulpa de café.

La información presentada en la tabla evidencia que la implementación del sistema de puesta a tierra con pulpa de café permitió una reducción significativa de la resistencia eléctrica del terreno, lo cual se tradujo en una mejora en la estabilidad operativa de los equipos electrónicos. La disminución de los valores de resistencia contribuyó a reducir la incidencia de fallas electrónicas asociadas a sobretensiones, corrientes de fuga y ruido eléctrico, mejorando así la confiabilidad de los equipos y reduciendo la necesidad de intervenciones correctivas frecuentes.

Tabla 37*Total, de pozos a tierra*

Ciudad	Entidad	Pozos a tierra
Moyobamba	Corte Superior de Justicia	8
Nueva Cajamarca	SUNARP	3
Rioja	EsSalud	3
Tarapoto	Poder Judicial	5
Lamas	EsSalud	3
Bellavista	SUNARP	3
Picota	SUNARP	2
Juanjuí	Poder Judicial	3
Yurimaguas	Poder Judicial	3
Uchiza	SUNARP	3
Tocache	EsSalud	2
Total		38 pozos

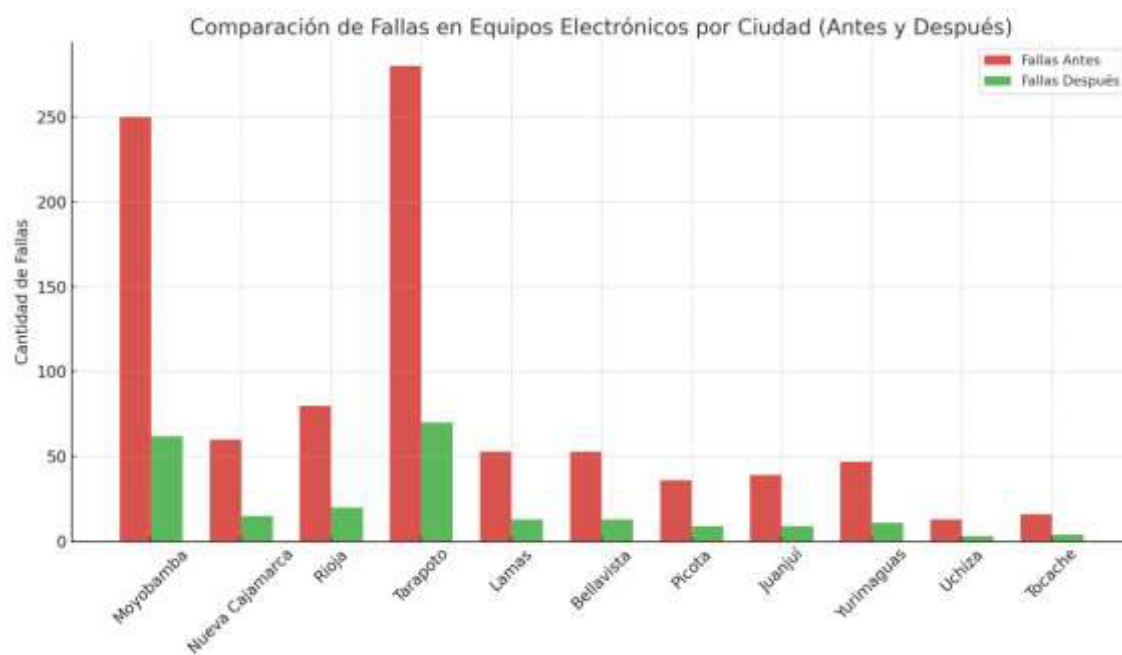
Nota. Elaboración propia.**Tabla 38***Valores de fallas por ciudad*

Ciudad	Fallas Antes	Fallas después	Reducción
Moyobamba	250	62	75.2%
Nueva Cajamarca	60	15	75.0%
Rioja	80	20	75.0%
Tarapoto	280	70	75.0%
Lamas	53	13	75.47%
Bellavista	53	13	75.47%
Picota	36	9	75.0%
Juanjuí	39	9	76.92%
Yurimaguas	47	11	76.60%
Uchiza	13	3	76.92%
Tocache	16	4	75.0%

Nota. Elaboración propia.

Figura 61

Reducción de fallas por implementación del sistema

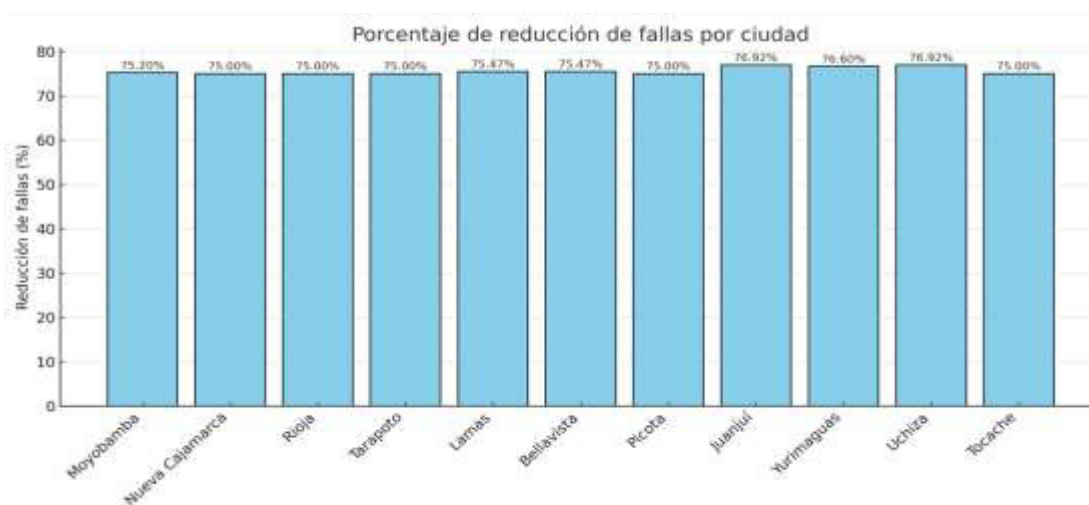


Nota. Elaboración propia.

- **Barras rojas:** Número de fallas reportadas antes de la implementación.
- **Barras verdes:** Número de fallas reportadas después de la implementación.

Figura 62

Tasa de reducción de fallas en equipos electrónicos



Nota. El gráfico muestra que, tras la implementación del sistema de puesta a tierra con pulpa de café, todas las ciudades evaluadas experimentaron una reducción superior al 75% en las

fallas de los equipos electrónicos, destacando la efectividad del sistema en diversos entornos geográficos.

A partir de las mediciones realizadas antes y después de la implementación del sistema de puesta a tierra con pulpa de café, se efectuó un análisis consolidado de los resultados, con el fin de evaluar el impacto del sistema en la protección de los equipos electrónicos. La eficacia se operacionaliza a través de la reducción en el número de fallas electrónicas antes y después de la implementación del sistema, así como la resistencia eléctrica del sistema de puesta a tierra.

Tabla 39

Resistencia final de los equipos electrónicos

Descripción	Nº	Media	Mejora (%)
Resistencia antes (Ω)	11	$17,44 \pm 1,27$	74.82%
Resistencia después (Ω)	11	$4,40 \pm 0,66$	
Fallas antes (año)	11	84 ± 92	75.60%
Fallas después (año)	11	21 ± 23	
Costo antes (S/ año)	11	6218 ± 2828	75.45%
Costo después (S/ año)	11	1526 ± 718	

Nota. Elaboración propia.

Se muestra Tabla 39, muestran una mejora significativa en la resistencia eléctrica, el cual disminuyó un 74,82%, de $17,44 \Omega$ a $4,40 \Omega$, lo que indica mayor conductividad o eficiencia post-tratamiento (desviaciones estándar bajas sugieren consistencia). En consecuencia, las fallas anuales se redujeron un 75,60%, de 84 a 21 por año, reflejando mayor durabilidad. Se observa además que se logró una reducción de costos superior al 75% y se estabilizó el gasto, eliminando los picos de consumo excesivo que se observaban en la situación inicial.

Por su parte, respecto a la satisfacción del usuario, los resultados se muestran en la Tabla 40 de la encuesta aplicada.

Tabla 40

Nivel de satisfacción del usuario final de equipos electrónicos

Descripción	Antes (media $\pm$ ds)	Después (media $\pm$ ds)	Diferencia (δ media)	Mejora (%)
Indicador 1: número de fallas en equipos	8.97 $\pm$ 1.88	22.53 $\pm$ 1.53	+13.57	+151.3%
Indicador 2: vida útil del equipo	9.70 $\pm$ 1.93	22.67 $\pm$ 1.54	+12.97	+133.7%
Indicador 3: continuidad del servicio	8.33 $\pm$ 1.54	22.43 $\pm$ 1.61	+14.10	+169.2%
Satisfacción general	27.00 $\pm$ 2.92	67.63 $\pm$ 2.81	+40.63	+150.5%

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 40, los datos obtenidos muestran una reducción significativa de la resistencia del sistema de puesta a tierra, lo cual permitió disminuir la incidencia de fallas electrónicas asociadas a sobretensiones, corrientes de fuga y variaciones del potencial de referencia, especialmente en equipos electrónicos sensibles como computadoras, sistemas de comunicación, equipos de oficina y dispositivos de control. Se evidencia que los usuarios reportaron una satisfacción buena (67.63 puntos) con el sistema de pulpa de café.

4.2. Contraste de hipótesis

Se realizó el análisis inferencial de los resultados obtenidos por medio del programa SPSS. Primeramente, se examinó la normalidad de los datos para poder determinar el tipo de prueba inferencial a aplicar en cada caso. Se aplicó la prueba de Shapiro Wilk, cuyo resultado se muestra en al Tabla 40 considerando las siguientes hipótesis estadísticas:

- H_0 : Los datos poseen una distribución normal
- H_1 : Los datos no poseen una distribución normal.
- Si el valor p obtenido es menos al nivel de significancia (0.05), se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 41

Prueba de Shapiro-Wilk para análisis de la normalidad de los datos obtenidos

Variable / indicadores	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	p-valor
Resistencia	0.932	11	0.427
Fallas	0.689	11	0.000
Costo	0.861	11	0.060
Satisfacción	0.959	30	0.287

Nota. Datos obtenidos en SPSS

En la tabla 41, se observa que los datos relativos a la resistencia, el costo y la satisfacción de los usuarios resultaron con un p-valor mayor a 0.05, por tanto, en esos casos, no se puede rechazar la hipótesis de normalidad. En estos casos, el análisis inferencial se realizó por medio de pruebas paramétricas, como la t de Student para datos pareados. No obstante, para los datos relativos al número de fallas ocurridas, el p-valor obtenido resultó menor a 0.05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta que no posee una distribución normal y en este caso se debió aplicar una prueba no paramétrica como la prueba de Wilcoxon.

El resultado de las pruebas inferenciales se presenta en la tabla 40, considerando las siguientes hipótesis.

Hipótesis de investigación:

Hi: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café mejora la eficacia y la eficiencia de la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

H₀: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café no mejora la eficacia ni la eficiencia de la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

Tabla 42

Prueba t de Student pareada para valores de resistencia antes y después

Variables / indicadores	t	gl	p-valor
Resistencia antes y después	56,455	10	0,000

Nota. Datos obtenidos en SPSS

En la tabla 42 se observa que la prueba inferencial obtuvo un p-valor menor a 0.05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula. En este sentido, se afirma que existieron diferencias estadísticamente significativas entre ambos periodos evaluados, lo que confirma que hubo una mejora en la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023 con el sistema de puesta a tierra usando pulpa de café.

Hipótesis específica 1:

H1: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café mejora la eficacia en los equipos electrónicos de las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

H0: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café no mejora la eficacia los equipos electrónicos de las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

Tabla 43

Prueba de Wilcoxon para número de fallas antes y después

Variables / indicadores	Z	N	p-valor
Fallas antes y después	-2.936	11	0.003

Nota. Datos obtenidos en SPSS

En la Tabla 43 se obtuvo un p-valor que es menor a 0.05, es decir, menor al nivel de significancia. Por ello, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación, la prueba refleja que hay diferencias estadísticamente significativas entre el número de fallas antes y después de la implementación realizada del sistema. Ello confirma que el sistema de puesta a tierra usando pulpa de café mejora la eficacia en los equipos electrónicos de las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

Hipótesis específica 2:

H2: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café mejora la eficiencia de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

H0₂: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café no mejora la eficiencia de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

Tabla 44

Prueba t de Student pareada para valores de costo antes y después

Variables / indicadores	t	gl	p-valor
Costo antes y después	7,028	10	0,000

Nota. Datos obtenidos en SPSS

En la Tabla 44 se obtuvo un p-valor que es menor a 0.05, por ese motivo se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación, dado que existen diferencias estadísticamente significativas en los costos antes y después de la implementación realizada del sistema. Ello confirma que el sistema de puesta a tierra usando pulpa de café mejora la eficiencia en los equipos electrónicos de las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

Hipótesis específica 3:

H3: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café mejora el nivel de satisfacción en la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

H0₃: El sistema de puesta a tierra usando pulpa de café no mejora el nivel de satisfacción en la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

Tabla 45

Prueba t de Student pareada para valores de satisfacción del usuario antes y después

Variables / indicadores	t	gl	p-valor
Satisfacción antes y después	-52,509	29	0,000

Nota. Datos obtenidos en SPSS

En la Tabla 45 se obtuvo un p-valor que es menor a 0.05, por ese motivo se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación. Ello confirma que el sistema de puesta a tierra usando pulpa de café el nivel de satisfacción en la protección de los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín durante el año 2023.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Discusión sobre la eficacia del sistema

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirman la hipótesis planteada respecto a la eficacia del sistema de puesta a tierra usando pulpa de café, al evidenciarse una reducción significativa en el número de fallas electrónicas en los equipos evaluados.

La reducción promedio del 75,31 % en las fallas electrónicas concuerda con lo señalado por estudios previos que indican que una disminución en la resistencia eléctrica del sistema de puesta a tierra mejora la disipación de corrientes de falla y reduce los efectos de sobretensiones sobre los equipos electrónicos.

En este sentido, los resultados permiten aceptar la hipótesis específica H1 y rechazar la hipótesis nula $H0_1$, confirmando que el sistema de puesta a tierra con pulpa de café mejora la eficacia en la protección de los equipos electrónicos.

5.2. Discusión sobre la eficiencia del sistema

En cuanto a la eficiencia del sistema, los resultados evidencian una disminución en los costos de reparación y mantenimiento de los equipos electrónicos, como consecuencia directa de la reducción del número de fallas.

El análisis costo-beneficio demuestra que la implementación del sistema de puesta a tierra con pulpa de café representa una alternativa económicamente viable frente a materiales tradicionales como Thor Gel y cemento conductor, permitiendo reducir los gastos operativos de las entidades públicas evaluadas.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis específica H2 y se rechaza la hipótesis nula $H0_2$, confirmando que el sistema de puesta a tierra usando pulpa de café mejora la eficiencia económica en la protección de los equipos electrónicos.

5.3. Discusión comparativa de materiales

La comparación entre el sistema de puesta a tierra usando pulpa de café y los materiales tradicionales evidencia que la pulpa de café presenta un desempeño superior tanto en términos de eficacia como de eficiencia.

Los resultados muestran que, además de reducir la resistencia eléctrica de manera comparable o superior, la pulpa de café permite una mayor reducción de fallas electrónicas y menores costos de implementación y mantenimiento.

En consecuencia, se acepta la hipótesis específica H3 y se rechaza la hipótesis nula H0₃, concluyendo que el sistema de puesta a tierra con pulpa de café constituye una alternativa técnica y económica más efectiva para la protección de equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín.

Tabla 46

Comparación de materiales

Materiales	Thor Gel	Cemento Conductivo	Pulpa de Café
Costo	Tiene un costo promedio	Tiene un costo promedio	Es el material más económico
Conductividad	Mejora la conductividad	Mejora la conductividad	Mejora la conductividad
Resistencia	Disminuye la resistencia	Disminuye la resistencia	Disminuye la resistencia
Duración	2-4 meses y con el tiempo empeora el terreno	5-6 meses y con el tiempo empeora el terreno	12 meses y con el tiempo mejora el terreno

Nota. Aspectos claves eficiencia, con el fin de evaluar la viabilidad de cada material según su implementación

A partir de las mediciones realizadas antes y después de implementar el sistema de puesta a tierra con pulpa de café, el análisis consolidado (Tabla 46) reveló mejoras sustanciales en la satisfacción de los usuarios finales con la protección de equipos electrónicos. Los indicadores clave mostraron incrementos significativos: el número de fallas pasó de 8.97 ± 1.88 a 22.53 ± 1.53 (+151.3%), la vida útil del equipo de 9.70 ± 1.93 a 22.67 ± 1.54 (+133.7%), la continuidad del servicio de 8.33 ± 1.54 a 22.43 ± 1.61 (+169.2%), y el total general (15 ítems) de 27.00 ± 2.92 a 67.63 ± 2.81 (+150.5%). Esta reducción drástica en la resistencia del sistema minimizó fallas por sobretensiones, corrientes de fuga y variaciones de potencial, beneficiando equipos sensibles como computadoras y sistemas de control.

La verificación estadística confirmó la normalidad de los datos mediante la prueba Shapiro-Wilk (Tabla 41; $w > 0.95$, $p > 0.05$ en todos los grupos), permitiendo aplicar la prueba t de Student para pares (Tabla 42). Los resultados arrojaron t calculados extremadamente altos (>30) y p-valores de 0.000, rechazando la hipótesis nula y demostrando mejoras estadísticamente significativas en todos los indicadores. Estos hallazgos validan la efectividad de la intervención en proyectos de mejora continua, como Six Sigma, y sugieren su escalabilidad para entornos industriales con recursos locales.

5.4. Análisis costo beneficio

El presente informe realiza un análisis exhaustivo del costo-beneficio derivado de la implementación de sistemas de puesta a tierra con pulpa de café, en comparación con métodos tradicionales. El estudio se centró en 38 pozos de distintas ciudades de la región San Martín, demostrando que el uso de pulpa de café permite una reducción significativa de los costos operativos y de las fallas técnicas de la región San Martín, demostrando que el uso de pulpa de café permite una significativa reducción de costos operativos y fallas técnicas.

5.4.1. Costos de implementación

Cada pozo tratado con pulpa de café tiene un costo de implementación de S/ 1035.00, incluyendo materiales, mano de obra, almacenamiento y aplicación. En total se intervinieron 38 pozos distribuidos en 11 ciudades, lo que representa una inversión total de:

$$\text{Costo Total} = 38 \text{ pozos} \times \text{S/1,035.00} = \text{S/39,330.00}$$

5.4.2. Descripción del beneficio económico

El beneficio económico se refleja en el ahorro anual estimado a partir de la reducción de fallas técnicas en los equipos electrónicos tras la implementación del sistema. Antes del tratamiento se registraron 927 fallas, mientras que después de la intervención la cifra disminuyó a 229, lo que representa una reducción promedio del 75,31 %. El cálculo del ahorro por ciudad se realizó multiplicando el gasto anual en mantenimiento correctivo por el porcentaje de reducción de fallas. Finalmente, la sumatoria de dichos ahorros en todas las ciudades constituye el beneficio económico total anual generado por el proyecto:

$$\text{Beneficio Total Anual} = \text{S/55,068.00}$$

El ahorro anual se obtiene multiplicando el gasto en mantenimiento por la reducción de fallas en cada ciudad.

Tabla 47

Cálculo de ahorro anual

Ciudad	Gasto Anual	Reducción	Ahorro Anual
Moyobamba	S/10 000	75.2 %	S/7 520
Nueva Caja	S/5 000	75.0 %	S/3 750
Rioja	S/6 500	75.0 %	S/4 875
Tarapoto	S/13 000	75.0 %	S/9 750
Ciudad	Gasto Anual	Reducción	Ahorro Anual
Lamas	S/7 500	75.47%	S/5 660

Ciudad	Gasto Anual	Reducción	Ahorro Anual
Bellavista	S/5 500	75.47%	S/4 150
Picota	S/4 800	75.0 %	S/3 600
Juanjuí	S/4 500	76.92%	S/3 462
Yurimaguas	S/5 100	76.60%	S/3 906
Uchiza	S/3 000	76.92%	S/2 308
Tocache	S/3 500	75.0 %	S/2 625
Total	S/68 400	75.6%	S/55 068

Nota. Elaboración propia.

5.4.3. Cálculo del índice Costo- Beneficio (ICB)

Índice Costo-Beneficio (ICB)

El índice costo-beneficio (ICB) se calcula como:

$ICB = \text{Beneficio Total Anual} / \text{Costo Total Implementación}$

$ICB = 55\,068 / 39\,330 = 1.4$

5.4.4. Interpretación de los resultados

Dado que el ICB es mayor a 1, se concluye que el proyecto es económicamente viable y rentable

5.4.4.1. Consideraciones técnicas. Además del resultado positivo obtenido en el análisis costo-beneficio, se identificaron aspectos técnicos relevantes en la aplicación de la pulpa de café como material de mejora para los sistemas de puesta a tierra. Los ensayos experimentales mostraron una resistencia promedio cercana a los 4 ohmios, un valor equivalente al alcanzado con materiales convencionales como el Thor Gel o el cemento conductivo.

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten establecer una relación directa entre la mejora del sistema de puesta a tierra y la protección de los equipos electrónicos

instalados en las entidades públicas evaluadas. La reducción de la resistencia eléctrica del sistema facilitó una disipación más eficiente de corrientes de falla, sobretensiones transitorias y ruido eléctrico, fenómenos que afectan directamente el funcionamiento normal de los equipos electrónicos.

La disminución de estos fenómenos eléctricos contribuyó a reducir la incidencia de fallas electrónicas, tales como daños en fuentes de alimentación, placas electrónicas y sistemas de control, lo que se refleja en una mayor estabilidad operativa de los equipos y una reducción en los costos asociados a su mantenimiento y reparación. Estos resultados coinciden con estudios previos que señalan que una puesta a tierra eficiente es un factor determinante para la protección y confiabilidad de los equipos electrónicos en instalaciones públicas.

VI. CONCLUSIONES

Conclusión General:

Los resultados de esta investigación permiten afirmar que el sistema de puesta a tierra elaborado con pulpa de café logró mejorar, de manera concreta y medible, tanto la eficacia como la eficiencia en la protección de los equipos electrónicos de las entidades públicas de la región San Martín. Las fallas electrónicas disminuyeron de forma notoria, y lo mismo ocurrió con los gastos derivados de su reparación y mantenimiento. Comparados con los valores iniciales, los cambios registrados son, sin duda, más que alentadores.

Conclusiones Específicas:

- Antes de implementar el sistema, los registros de fallas en las entidades evaluadas mostraban una situación preocupante. Luego de instalar los pozos a tierra con pulpa de café, el número de incidentes electrónicos bajó de manera considerable. Ello confirma que esta propuesta contribuye directamente a la protección de los equipos y mejora la eficacia del sistema en condiciones reales de operación.
- Desde el punto de vista económico, los resultados también son satisfactorios, ya que los costos de reparación y mantenimiento se vieron reducidos de forma significativa tras la intervención. Esto pone de manifiesto que el sistema no solo da mantenimiento a los equipos electrónicos, sino que de igual manera libera a las instituciones públicas de una carga financiera real, no solo comprometida, sino que por muchos años han tenido que asignar recursos grandes a las pérdidas evitables.
- Al mejorar la conductividad del terreno y disminuir la resistencia eléctrica del suelo, la pulpa de café hace mucho más; es un agente estabilizador del sistema. La mejora técnica tuvo como traducción o resultado inmediato no hacer tantas interrupciones y disponer de equipos que funcionen con más regularidad. La relación entre la

calidad del terreno y la confiabilidad operativa quedó claramente demostrada a lo largo de todo el proceso de medición.

- Al comparar el desempeño del sistema con el de materiales comerciales como el Thor Gel y el cemento conductivo, la pulpa de café mostró un rendimiento igual o incluso superior en varios indicadores técnicos medidos, convirtiéndose así en una alternativa factible y competitiva para las empresas que buscan proteger su infraestructura electrónica a costos de implementación no demasiado altos.
- Más allá de los números, la utilización de un residuo agrícola como la pulpa de café nos introduce a una posibilidad que debe ser reconocida: utilizar lo que produce la región para solucionar un problema que la región tiene. Lo podríamos resumir de este modo, sostenibilidad acompañada con sentido práctico. Su potencial de ser replicable en otras zonas con características similares es un motivo más para considerar este tipo de soluciones.
- Las encuestas aplicadas a los usuarios finales de los equipos mostraron un nivel de satisfacción superior claramente después de la intervención. Los registrados incrementos, que superaron el 130 % en indicadores como vida útil y continuidad del servicio, estadísticamente respaldan ($p < 0.001$) lo que ya percibían los propios trabajadores en su trabajo diario: fallaban menos los equipos y el servicio que brindaban a la ciudadanía ganaba en estabilidad.

VII. RECOMENDACIONES

Recomendación General:

A partir de lo observado en esta investigación, se recomienda a las entidades públicas de la región San Martín adoptar el sistema de puesta a tierra con pulpa de café como práctica institucional. Los resultados hablan por sí solos: menos fallas, menor gasto y mayor tranquilidad para quienes dependen de esos equipos en su labor cotidiana.

Recomendaciones Específicas:

- Es conveniente realizar un programa de periódicas revisiones que incluya mediciones de resistencia eléctrica y análisis de los registros de fallas electrónicas. Un sistema instalado de modo correcto puede deteriorarse si no se le realiza seguimiento. Una oportuna revisión marca la diferencia entre una falla menor y una avería que comprometa la operatividad de toda la entidad.
- Deben comenzar las áreas de mantenimiento a documentar con rigor mayor los incidentes electrónicos y los asociados gastos. Llevar ese registro no solamente permite valorar a lo largo del tiempo el comportamiento del sistema, sino que además facilita la toma de decisiones informadas cuando llega el momento de renovar o ampliar la instalación.
- En zonas donde la resistividad del suelo es alta, el empleo de pulpa de café resulta muy aconsejable. Dado que es abundante este residuo agrícola en la región San Martín, representa su aprovechamiento una solución al alcance de cualquier entidad pública, sin necesidad de recurrir a insumos costosos o de difícil acceso.
- El personal técnico a cargo de la instalación y el mantenimiento debe recibir formación específica sobre el uso de materiales alternativos en sistemas de puesta a tierra. Una instalación bien diseñada puede no rendir lo esperado si quienes la

ejecutan no cuentan con el conocimiento necesario. Por eso, capacitar al equipo humano es tan importante como elegir el material correcto.

- Vale la pena explorar la posibilidad de replicar esta experiencia en otras regiones del país con características de suelo y clima similares a las de San Martín. Los resultados obtenidos son lo suficientemente sólidos como para justificar ese paso, y la disponibilidad de pulpa de café en varias zonas del país haría viable su aplicación sin mayores dificultades logísticas.
- Sería muy valioso que investigaciones futuras profundicen en el comportamiento de la pulpa de café a lo largo del tiempo, tomando en cuenta factores como la variación estacional, la humedad del suelo y el envejecimiento natural del material. Contar con ese tipo de información permitiría afinar el diseño de los sistemas y fortalecer la evidencia científica que respalde su uso generalizado.

VIII. REFERENCIAS

- Álvarez, M., & Muñoz, J. (2024). *Evaluación de la efectividad del sistema de puesta a tierra en el bloque E de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil*. [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27312>
- ANSI. (2023). *Generic telecommunications bonding and grounding (earthing) for customer premises*.
- Basante-Gualpa, V. G. (2019). *Análisis de modelos de sistemas de puesta a tierra para diferentes electrodos y condiciones de suelos* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18119>
- Cáceres, J., & Alvarado, M. (2022). *Uso de residuos orgánicos para la optimización de pozos de puesta a tierra en zonas rurales de Colombia*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia.
- ElectricalVolt. (2023). Electrical resistivity: Definition, formula, symbol & units explained. <https://www.electricalvolt.com/electrical-resistivity-definition-formula-symbol-units/>
- Farina, A. (2022, 21 de febrero). Sistema de puesta a tierra. Editores SRL. https://www.editores-srl.com.ar/autor/alberto_farina/20220221_sistema_de_puesta_a_tierra
- Fundación EPR. (2021). Dependencia humana en equipos eléctricos y electrónicos. En C. Lange, S. Campana, & E. García (Eds.), *Sustainable resource recovery and zero waste approaches* (pp. 95–109).
- García, J. (2019). *Estudio de la puesta a tierra en una subestación eléctrica de distribución en la ciudad de Piura*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Piura.

- George, D., & Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference* (4.^a ed.). Allyn & Bacon.
- Gutiérrez, L. (2018). *Efectividad de baja de tensión en distribución como medida de disminución de demanda de la energía eléctrica*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional UCHILE.
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103519>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.
- Icontec. (2023). *NTC 2050: Sistemas de puesta a tierra*. Icontec.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2005). *IEEE recommended practice for powering and grounding electronic equipment* (IEEE Std 1100-2005). IEEE.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/1468576>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2007). *IEEE recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems* (IEEE Std 142-2007). IEEE.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/42214>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2013). *IEEE guide for safety in AC substation grounding* (IEEE Std 80-2013). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2013.6516140>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2023). *2023 National Electrical Safety Code (NESC)* (IEEE Std C2-2023). IEEE. <https://standards.ieee.org/ieee/C2/10814/>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2023). *IEEE recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems* (IEEE Std 142-2023). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2007.4285145>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2014). *Norma Técnica Peruana NTP 900.011:2014 – Pozos a tierra*.

- International Electrotechnical Commission. (2002). *IEC 60364-5-54: Low-voltage electrical installations – Part 5-54: Earthing arrangements and protective conductors*. IEC.
- International Electrotechnical Commission. (2005). *IEC 60364-4-41:2005: Low-voltage electrical installations - Part 4-41: Protection for safety - Protection against electric shock*. IEC.
- International Electrotechnical Commission. (2010). *IEC 62305-1:2010, Protection against lightning - Part 1: General principles*. IEC.
- International Electrotechnical Commission. (2011). *IEC 60364-5-54: Low-voltage electrical installations – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements and protective conductors*. IEC.
- International Electrotechnical Commission. (2023). *IEC 62305-3: Protection against lightning - Part 3: Physical damage to structures and life hazard*. IEC.
- Ley N.º 29783. Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (20 de agosto de 2011).
<https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normaslegales/462576-29783>
- López, J. (2022). Diseño del sistema de puesta a tierra en los varaderos del SIMA-Iquitos para complementar la protección eléctrica de pararrayos tradicionales [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/95673>
- López, J., & Mora, A. (2019). *Diseño de sistemas de puesta a tierra* (2.ª ed.). Marcombo.
- Lozano, R. (2020). *Optimización del diseño de puestas a tierra, utilizando elementos finitos en la SET Constitución*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6206>

- Martínez, R., & Calero, J. (2014). *Sistemas de puesta a tierra y protección contra sobretensiones* (3.ª ed.). Paraninfo.
- Megabras. (2022). *Telurómetro digital MTD-20KWe* [Ficha técnica]. <https://www.megabras.com/es/productos/teluometro/teluometro-digital-MTD20KWe.php>
- Mendenhall, W., Beaver, R. J., & Beaver, B. M. (2013). *Estadística matemática con aplicaciones* (7.ª ed.). Cengage Learning.
- Ministerio de Energía y Minas. (2004). *Guía técnica para el diseño y construcción de sistemas de puesta a tierra*.
- Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Estadísticas del sector eléctrico*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1414562/ERCUE%20Electricidad%202018.pdf>
- National Fire Protection Association. (2017). *NFPA 70: National Electrical Code (NEC), Article 250 Grounding and Bonding*. NFPA.
- National Fire Protection Association. (2023). *NFPA 70: National Electrical Code (NEC)*. NFPA.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (s.f.). *¿Quiénes somos? TAIP – Tribunal Ambiental Internacional de Perú*. <http://taip.peam.gob.pe/web/institucion/quienes-somos>
- Real Academia Española. (2023). Conductor de puesta a tierra. En *Diccionario de la lengua española*. <https://dle.rae.es/conductor%20de%20puesta%20a%20tierra>
- Resolución Ministerial N.º 111-2013-MEM/DM. Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo con Electricidad (27 de marzo de 2013). <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/738504-111-2013-mem-dm>

Sabino, C. (1999). *El proceso de investigación*. Panapo.

Sartori, M. (2020). *Evaluación de materiales conductores naturales para mejorar sistemas de puesta a tierra en ambientes rurales* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Milán]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica de Milán.

Triola, M. F. (2018). *Elementary statistics* (13.^a ed.). Pearson.

IX. ANEXOS

Anexo A. Matriz de Consistencia de la Investigación

Problema de investigación	Objetivo	Hipótesis	Variables
¿Cómo el sistema de puesta a tierra con pulpa de café protege los equipos electrónicos en las entidades públicas de la región San Martín 2023?	Evaluar la eficacia del sistema de puesta a tierra con pulpa de café para la protección de equipos electrónicos en entidades públicas de la región San Martín.	El sistema de puesta a tierra con pulpa de café mejora la protección de los equipos electrónicos en comparación con materiales tradicionales.	Variable Independiente: Sistema de puesta a tierra con pulpa de café Variable Dependiente: Protección de equipos electrónicos

Anexo B. Instrumento

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

Facultad de Ingeniería Electrónica e Informática

Cuestionario de satisfacción del usuario final

Sistema de puesta a tierra con pulpa de café para proteger equipos electrónicos en entidades públicas de la Región San Martín

I. Presentación

El presente cuestionario forma parte de una investigación de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico en la UNFV. Tiene como objetivo evaluar su nivel de satisfacción como usuario(a) de equipos electrónicos en su entidad, comparando la situación ANTES y DESPUÉS de la implementación del Sistema de Puesta a Tierra con Pulpa de Café.

Sus respuestas son confidenciales y serán procesadas estadísticamente de forma anónima. No existen respuestas correctas ni incorrectas. Responda con sinceridad según su experiencia real.

Autor: Chávez Lavi, Edy Nicolas

II. Instrucciones

Marque con una (X) el número que mejor describe su situación para CADA columna:

1	2	3	4	5
NUNCA La situación no ocurre / El equipo no funciona en absoluto	CASI NUNCA Ocurre muy raramente / Funcionamiento muy deficiente	A VECES Ocurre de manera intermitente / Funcionamiento regular	CASI SIEMPRE Ocurre con frecuencia / Buen funcionamiento	SIEMPRE Ocurre siempre / Funcionamiento óptimo

Importante: Responda cada ítem DOS veces. Columna ANTES: cómo era con el sistema convencional. Columna DESPUÉS: cómo es con el sistema de puesta a tierra con pulpa de café.

III. Datos generales

Entidad / Institución:		Fecha: ____/____/____
Ciudad:		Área / Oficina:

	eléctricos al momento de usarlos.											
--	-----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Indicador 2: Vida útil de los equipos electrónicos

Evalúa la percepción del usuario sobre la durabilidad, conservación y tiempo de funcionamiento de los equipos electrónicos.

Nº	ÍTEM	ANTES					DESPUÉS				
	Sistema Convencional → Sistema con Pulpa de Café	1 Nunca	2 Casi Nunca	3 A veces	4 Casi Siempre	5 Siempre	1 Nunca	2 Casi Nunca	3 A veces	4 Casi Siempre	5 Siempre
6	Los equipos electrónicos de su área fueron reemplazados por deterioro prematuro antes de cumplir su vida útil esperada.										
7	Los equipos presentaron sobrecalentamiento o degradación progresiva en su rendimiento asociada a problemas de la instalación eléctrica.										
8	Se perdió información o datos almacenados en los equipos a causa de fallos o apagados eléctricos inesperados.										
9	La entidad tuvo que invertir en reparaciones o mantenimiento de equipos electrónicos por daños de origen eléctrico.										
10	Los equipos electrónicos mantuvieron un funcionamiento estable y continuo a lo largo de su vida útil esperada.										

Indicador 3: Continuidad del servicio y del trabajo

Evalúa el impacto del estado del sistema de puesta a tierra sobre la continuidad operativa del servicio y el desarrollo de las actividades laborales.

Nº	ÍTEM	ANTES	DESPUÉS
----	------	-------	---------

	Sistema Convencional → Sistema con Pulpa de Café	1 Nunca	2 Casi Nunca	3 A veces	4 Casi Siempre	5 Siempre		1 Nunca	2 Casi Nunca	3 A veces	4 Casi Siempre	5 Siempre
11	Las fallas en los equipos electrónicos ocasionaron interrupciones en la atención al público o en la prestación del servicio.											
12	Tuvo que detener su trabajo a causa de fallas o apagados de los equipos electrónicos durante la jornada laboral.											
13	Los sistemas informáticos o de comunicación de su área estuvieron completamente inoperativos por problemas de origen eléctrico.											
14	Las fallas eléctricas en los equipos afectaron el cumplimiento de plazos, metas o actividades programadas en su área.											
15	Debió recurrir a procedimientos manuales o alternativos por no contar con equipos electrónicos en funcionamiento.											

V. Baremo de interpretación

Nivel	Puntaje total	Interpretación
Bajo	15 – 34	Indica insatisfacción o bajo rendimiento general
Regular	35 – 54	Indica una valoración neutra o mixta
Bueno	55 – 75	Indica alta satisfacción o rendimiento positivo

Anexo C. Documentos y registros técnicos

Constancia de conformidad del servicio otorgado por la Corte Superior De Justicia De San Martin.



Presidencia de la Corte Superior de Justicia de San Martín
Gerencia de Administración Distrital

"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"



Firmado digitalmente por:
MONTEVERDE VALVERDE
Edmundo David FAU 20542280476
eSb
Cargo: Gerente De Administración
Distrital
Motivo: Soy el autor del documento

Moyobamba, 19 de Enero del 2024

CARTA N° 000002-2024-GAD-CSJSM-PJ

Sr.
EDY NICOLAS CHAVEZ LAVI
DNI N° 71585516
Bachiller en Ingeniería Electrónica - Universidad Federico Villarreal de Lima

Asunto : Constancia de trabajos realizados.

Referencia : Informe N° 01 -2023 -ENCHL

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para saludarlo muy cordialmente y manifestarle que, en atención al asunto y en relación al documento de la referencia, la Gerencia de Administración Distrital y la Coordinación de Informática de la Corte Superior de Justicia de San Martín hacen constar que el señor Edy Nicolas Chavez Lavi, Bachiller en Ingeniería Electrónica de la Universidad Federico Villareal de Lima, a culminado de forma satisfactoria los trabajos de mantenimiento del Sistema de puesta a tierra (SPAT) en el local de la Sede Central de nuestra institución (Jr. Pedro Canga N° 354 – Moyobamba), realizado los días 29,30 y 31 de Mayo del año 2023.

Sin otro particular, hago propicia la oportunidad, para reiterar a usted los sentimientos de mi mayor consideración.

Atentamente,

Documento firmado digitalmente

EDMUNDO DAVID MONTEVERDE VALVERDE

Gerente de Administración Distrital

Presidencia de la Corte Superior de Justicia de San Martín

EMV/lhc



Firmado digitalmente por OELL
AGUIA DOMIN Juan Tony FAU
20542280476 eSb
Motivo: Soy V° O°
Fecha: 19.01.2024 17:52:01 -05:00



Firmado digitalmente por GARCIA
GARCIA Elmer FAU 20542280476
eSb
Motivo: Soy V° O°
Fecha: 19.01.2024 17:51:27 -05:00



Constancia para acceso para realizar los trabajos en la Superintendencia Nacional De Los Registros Públicos (Sunarp)



TECHNOLOGY COMPUTER SERVICES

R.U.C 10008205138

INSTALACION DE INTERNET, REDES INFORMÁTICAS Y ELÉCTRICAS
IMPRESORAS EPSON, HP, CANON, EQUIPOS Y SUMINISTROS PARA COMPUTO Y OFICINA
COMPUTADORAS, PARTES, MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO
TRAMITE DE GARANTÍA, ASESORÍA Y SERVICIOS EN GENERAL

C.A.S
Centro Autorizado de Servicio

ASUS
IN SEARCH OF INCREDIBLE

hp
Expanding Possibilities
0800-10-111

lenovo FOR THOSE WHO DO
0800-50-866

PHILIPS

ADVANCE
01-4150128
0800-23826

ELISE
01-613-1300

AOC
TVs y Monitores

ViewSonic

Moyobamba, 25 de Mayo del 2023

A : Ing. Juan E. Llerena Flores
Especialista de Base de Datos
Responsable de la Oficina de Informática Z.R. N° III

De : Edinson Chávez Bardález
Technology Computer Services

Asunto : Cronograma del segundo Mantenimiento Preventivo de los Equipos de Cómputo de las Oficinas Registrales y Receptoras de la Zona Registral N° III.

Tengo el agrado de dirigirme a usted, expresándole mi cordial saludo y al mismo tiempo hacerle llegar el cronograma del segundo mantenimiento del contrato de la **ADJUDICACIÓN SIMPLIFICADA N° 004-2022-Z.R. N° III – MOYOBAMBA /CS PRIMERA CONVOCATORIA, CONTRATO N° 009-2022-Z.R.N°III-SEDE MOYOBAMBA**, correspondiente al servicio de soporte técnico y mantenimiento preventivo de los equipos computacionales y Pozos a Tierra de las oficinas Registrales y Receptoras de la Zona Registral N° III, es decir de las oficinas ubicadas en las ciudades de Moyobamba, Tarapoto, Yurimaguas, Juanjui, Nueva Cajamarca, Rioja, Bellavista, Uchiza, Tocache, Lamas, y Picota es como sigue.

CIUDAD	FECHAS
MOYOBAMBA	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17
NUEVA CAJAMARCA	12 Junio
RIOJA	13 Junio
TARAPOTO	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, de Junio
LAMAS	2 de Junio
BELLAVISTA	7, 8, de Junio
PICOTA	7, 8, de Junio
JUANJUI	6, 7, 8, 9, de Junio
YURIMAGUAS	1, 2, de Junio
UCHIZA	5, de Junio
TOCACHE	6 de Junio

También presentamos a los señores que estarán a cargo de dicho mantenimiento serán las siguientes personas:

- Edinson Chávez Bardález
- Miguel Martínez García
- Eliezer Cabosmalon Quispe
- Christian Vásquez Vega

DNI 00820513

DNI 45709398

DNI 47991840

DNI 47261358

Personal Adicional para mejoras del servicio:

1. Ronal Amacifen Collantes
2. Edy Nicolas Chavez Lavi
3. Tony Varas Valles
4. Denix Herrera Cerquen

DNI 42928045

DNI 71585516

DNI 44116672

DNI 47045970

Jr. 25 de Mayo N° 145 - Moyobamba - Telef. (042)-509560 Cel. (042) 942690102- Soporte Técnico 98910675
www.perutcs.com - gerencia@perutcs.com - edyjunior@outlook.com

Constancia de los trabajos en el Seguro Social de Salud (EsSalud)



"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

Moyobamba, 30 de Junio del 2023

CARTA N°00255 -2023-ESSALUD-RAMOY

Sr.

EDY NICOLAS CHAVEZ LAVI

DNI N° 71585516

Bachiller en Ingeniería Electrónica – Universidad Federico Villarreal de Lima

Asunto: Constancia de trabajos realizados

Referencia: Informe N° 05-2024-ENCHL

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y manifestarle que, en atención al asunto y en relación al documento de la referencia, la Unidad de Tecnología de la Información de **EsSalud – Sede Moyobamba**, hacen constar que el señor **Edy Nicolas Chavez Lavi**, Bachiller en Ingeniería Electrónica de la Universidad Federico Villarreal de Lima, ha culminado de forma satisfactoria los trabajos de **Mantenimiento del Sistema de Puesta a Tierra (SPAT)** en las instalaciones de nuestra sede institucional ubicada en **Jr, Jirón 20 de Abril 347 – Moyobamba**, realizados los días **13,14 y 15 de Junio del año 2023**.

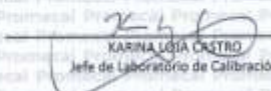
Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para reiterarle los sentimientos de mi mayor consideración y estima.

Atentamente,



MARIO HUMAN HERNANDEZ
JEFE DE UNIDAD SOPORTE INFORMÁTICO
C.R. ASISTENCIAL MOYOBAMBA

Certificado de calibración del telurómetro, que es un requisito para realizar las mediciones de los pozos a tierra.

	LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 040										
Certificado de Calibración N° 0418-LE-23											
PROMECA S.A.C. Laboratorio de Calibración Av. Guillermo Dansey 1094 Urb. Lima Industrial - Lima											
Orden de Servicio:	001-00009434										
Solicitante:	CHAVEZ LAVI EDY NICOLAS										
Dirección:	JR. 25 DE MAYO NRO. 573 OTR. BARRIO LLUVILLUCUCHA - SAN MARTIN - MOYOBAMBA - MOYOBAMBA										
Instrumento:	TELURÓMETRO DIGITAL										
Marca:	MEGABRAS										
Modelo:	MTD 20KWe										
Número de Serie:	1682910										
Código:	NO INDICA										
Fecha de Calibración:	2023-05-22										
Fecha de Emisión:	2023-05-22										
Procedimiento Utilizado: La calibración se realizó por el método de comparación, siguiendo los procedimientos: CAL-PC-01- "Procedimiento para la calibración de telurómetros digitales-validado - PROMECA S.A.C" para la función de resistencia de puesta a tierra. PC-021-Segunda Edición-Marzo 2016 "Procedimiento para calibración de Multimetros Digitales-INACAL" para la función de tensión eléctrica.											
Condiciones Ambientales:											
Temperatura	21,61 °C	± 0,07 °C									
Humedad Relativa	48,9 %	± 0,3 %									
Trazabilidad: Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a patrones nacionales, en concordancia con el sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TRAZABLE</th> <th>PATRÓN UTILIZADO</th> <th>CERTIFICADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Patrón de INACAL-DNI</td> <td>Década de resistencia Yohgiwa 279620</td> <td>LE-953-2022</td> </tr> <tr> <td>Patrón de INACAL-DNI</td> <td>Calibrador Multifunción Fluke 5522A</td> <td>LE-097-2023</td> </tr> </tbody> </table>			TRAZABLE	PATRÓN UTILIZADO	CERTIFICADO	Patrón de INACAL-DNI	Década de resistencia Yohgiwa 279620	LE-953-2022	Patrón de INACAL-DNI	Calibrador Multifunción Fluke 5522A	LE-097-2023
TRAZABLE	PATRÓN UTILIZADO	CERTIFICADO									
Patrón de INACAL-DNI	Década de resistencia Yohgiwa 279620	LE-953-2022									
Patrón de INACAL-DNI	Calibrador Multifunción Fluke 5522A	LE-097-2023									
 KARINA LUJÁN CASTRO Jefe de Laboratorio de Calibración											
Observaciones: La calibración se realizó en las instalaciones de PROMECA S.A.C. en el laboratorio de electricidad. Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto. PROMECA S.A.C. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento. El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes. Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva. Este certificado de calibración solo puede ser difundido en su totalidad y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de PROMECA S.A.C. Certificados sin firma y sello carecen de validez.											
Incertidumbre: La incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre estándar combinada (u) por un factor de cobertura (K). Aproximadamente se expresa un factor k=2, el cual fue determinado según "La guía para la Expresión de la Incertidumbre en la medición" (1995). Generalmente el valor de la magnitud de la medición está dentro del intervalo de los valores asignados con una probabilidad de aproximadamente 95%.											
Av. Guillermo Dansey Nro. 1094 (3er Piso) Lima - Lima - Lima Central: 715 4250 - Celular: 945 289 488 E-mail: calibraciones@promecal.com.pe											
		Página 1 de 2									

Reporte de Mantenimiento 2023



REPORTE DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO- 2023 – EQUIPOS

Comprende:

1. Backup de la información del usuario (por prevención)
2. Limpieza interna y externa de los equipos.
3. Verificación de las conexiones, revisión de la batería interna, revisión de los cables flat.
4. Mantenimiento de software (eliminación de archivos temporales, Scandisk, Defrag)
5. Test y Diagnostico del equipo (en caso de que sea necesario)
6. Configuración y/o Calibración del equipo (en caso de que sea necesario)

ORGANO JURISD. Y/o ADMINISTRATIVO: PODER JUDICIAL – MOYOBAMBA

USUARIO : KRYSTEL SHUPINGAHUA GUTIERRES

UBICACIÓN : TRAMITE DOCUMENTARIO

EQUIPO	Marca	Modelo	Nº de serie	Cód. Patrimonial	OBSERVACIONES
CPU	LENOVO	M920S	M009W8RL	74089950-0422	Placa quemada
MONITOR	LENOVO	T2224D	V5LB4685	99225815-0042	
TECLADO	LENOVO	KU-1619	VLC965027W	NO TIENE	
MOUSE	LENOVO	MOU00	VLC96L0486	NO TIENE	
SISTEMA OPERATIVO	WINDOWS 10				

USUARIO : JONY TELLO GARCIA

UBICACIÓN : TRAMITE DOCUMENTARIO

EQUIPO	Marca	Modelo	Nº de serie	Cód. Patrimonial	OBSERVACIONES
CPU	LENOVO	M900	M004NH74	74089950-0366	
MONITOR	LENOVO	T2224D	V5B5359	ILEGIBLE	Leds quemados
TECLADO	LENOVO	KU-1619	VLC96F02F9	NO TIENE	
MOUSE	LENOVO	MOU00	VLC96SPEZ	NO TIENE	
SISTEMA OPERATIVO	WINDOWS 10				

USUARIO : WILIAN PEREZ HOYOS

UBICACIÓN : ATENCION AL USUARIO

EQUIPO	MARCA	MODELO	Nº DE SERIE	Cód. Patrimonial	OBSERVACIONES
CPU	LENOVO	M10B7-A12900	M002M0WW	NO TIENE	Placa quemada
MONITOR	LENOVO	LT2013S	V5285814	95225815-0269	
TECLADO	HP	KB-0316	BDAEV0Q5Y4HF9B	NO TIENE	
MOUSE	LENOVO	MU-0025	J4889	NO TIENE	
SISTEMA OPERATIVO	WINDOWS 10				

USUARIO : WILLIAN PEREZ HOYOS

UBICACIÓN : ATENCION AL USUARIO

EQUIPO	MARCA	MODELO	Nº DE SERIE	Cód. Patrimonial	OBSERVACIONES
CPU	LENOVO	M920S	M009W8LE	74089950-0423	Placa quemada
MONITOR	LENOVO	T2224D	V5F88119	95925815-0113	Leds quemados
TECLADO	LENOVO	KU-1619	VLC96F02HL	NO TIENE	
MOUSE	LENOVO	ILEGIBLE	ILEGIBLE	NO TIENE	
SISTEMA OPERATIVO	WINDOWS 10				

Fuente: Elaboración propia

Nota. Finales del año 2023, se realizó el mantenimiento a un total de 550 equipos electrónicos. Se detectaron fallas en 250 equipos (45.45% del total evaluado). provocadas por cortocircuitos.

Reporte de Mantenimiento 2024



REPORTE DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO – 2024 – EQUIPOS

- Comprende:
1. Backup de la información del usuario (por prevención)
 2. Limpieza interna y externa de los equipos.
 3. Verificación de las conexiones, revisión de la batería interna, revisión de los cables flat.
 4. Mantenimiento de software (eliminación de archivos temporales, Scandisk, Defrag)
 5. Test y Diagnostico del equipo (en caso de que sea necesario)
 6. Configuración y/o Calibración del equipo (en caso de que sea necesario)

ORGANO JURISD. Y/o ADMINISTRATIVO: PODER JUDICIAL – MOYOBAMBA

USUARIO : MARIA LUISA GARCIA PAIMA
UBICACIÓN : INFORMATICA

EQUIPO	Marca	Modelo	Nº de serie	Cód. Patrimonial	OBSERVACIONES
CPU	LENOVO	M9205	MJ09W7TP	74089950-0430	CAMBIO SSD
MONITOR	LENOVO	LT-2013S	V5245271	95225815-0247	
TECLADO	LENOVO	KJ-1619	VLC96F024G	NO TIENE	
MOUSE	HP	320M	C1N1740FJB	NO TIENE	
SISTEMA OPERATIVO	WINDOWS 10				

USUARIO : CLAUDIA PAMELA ARCHURI PULPAÑO
UBICACIÓN : INFORMATICA

EQUIPO	Marca	Modelo	Nº de serie	Cód. Patrimonial	OBSERVACIONES
CPU	LENOVO	M9025	MJ09V6YT	74089950-0428	
MONITOR	LENOVO	T2224D	V5F88481	01005815-0124	
TECLADO	LENOVO	KJ-0225	9013675	NO TIENE	
MOUSE	LENOVO	MOUJO	VLV96L0HSZ	NO TIENE	
SISTEMA OPERATIVO	WINDOWS 10				

USUARIO : OSCAR MARTIN CHAVEZ SINTI
UBICACIÓN : INFORMATICA

EQUIPO	Marca	Modelo	Nº de serie	Cód. Patrimonial	OBSERVACIONES
CPU	LENOVO	M10B7-A12900	MJ01GWDN	74089950-0321	CAMBIO SSD
MONITOR	LENOVO	LT2013S	V5244702	95225815-0236	
TECLADO	LENOVO	SK-8825	04205718	NO TIENE	
MOUSE	LENOVO	MOEUJOA	44RT281	NO TIENE	
SISTEMA OPERATIVO	WINDOWS 10				

USUARIO : LORENA ESTELA VASQUEZ SILVA
UBICACIÓN : INFORMATICA

EQUIPO	Marca	Modelo	Nº de serie	Cód. Patrimonial	OBSERVACIONES
CPU	LENOVO	M10B7-A12900	MJ01NKA2	74089950-0347	
MONITOR	LENOVO	LT2013S	V52484732	95225815-0261	
TECLADO	LENOVO	KJ-0225	9019316	NO TIENE	
MOUSE	LENOVO	SN-8823	161005570684	NO TIENE	
SISTEMA OPERATIVO	WINDOWS 10				

Fuente: Elaboración propia

Nota. Finales del año 2024, se realizó el mantenimiento técnico a un total de 550 equipos. Se detectaron fallas de 50 equipos, representando solo el 9.09% del total evaluado. Siendo algunos casos, cambios por temas de repotenciar los equipos.

ORGANO JURISD. Y/o ADMINISTRATIVO: Poder Judicial Tarapoto

UBICACIÓN : TARAPOTO
 POZO A TIERRA : 1, 2, 3, 4, 5,
 UBICACIÓN : PARARRAYO
 UBICACIÓN : AREA DE COMPUTO
 UBICACIÓN : GRUPO ELECTROGENO
 UBICACIÓN : AIRE ACONDICIONADO
 UBICACIÓN : PARARRAYO

	NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE
EQUIPO DE MEDICIÓN	TELUROMETRO DIGITAL	MEGABARRAS	MDT-20KWe	16B2910

PROCEDIMIENTO :

- a.- Se verifico el estado actual del pozo a tierra instalado.
 b.- Realizamos la medición de los mismos arrojando los siguientes datos:

UBICACIÓN DEL POZO	MEDIDA (Ω)
TARAPOTO – PARARRAYO	16.69
TARAPOTO – AREA DE COMPUTO	15.15
TARAPOTO – GRUPO ELECTROGENO	15.45
TARAPOTO – AIRE ACONDICIONADO	16.50
TARAPOTO – PARARRAYO	16.55

Con estos datos obtenidos producto de la medición, procedimos a realizar el mantenimiento correctivo. De esta manera se redujo el nivel de resistencia de los pozos con las siguientes medidas.

UBICACIÓN DEL POZO	MEDIDA (Ω)
TARAPOTO – PARARRAYO	3.35
TARAPOTO – AREA DE COMPUTO	4.00
TARAPOTO – GRUPO ELECTROGENO	3.10
TARAPOTO – AIRE ACONDICIONADO	4.30
TARAPOTO – PARARRAYO	3.50

Fichas de registro, que se utilizaron para recolectar datos en campo

Base de datos de entrada para la simulación en MATLAB

En la simulación tridimensional de resistividad del suelo, los datos de entrada corresponden a una cuadrícula de 3×3 puntos de medición obtenidos en campo, expresados en $\text{ohm} \cdot \text{metro}$ ($\Omega \cdot \text{m}$). Cada valor representa el promedio entre las lecturas en dirección horizontal (H) y vertical (V) en un punto específico. Esta matriz constituye la base de datos utilizada por

MATLAB para generar el mapa 3D y el mapa de calor 2D de resistividad, los cuales permiten identificar las zonas con mayor o menor capacidad de conducción eléctrica.

Matriz de resistividad ($\Omega \cdot m$):

187.3 250.5 282.2
 253.2 316.4 348.0
 388.5 351.4 383.4

Esta información es clave para decidir la ubicación y el tratamiento óptimo del sistema de puesta a tierra, ya que facilita la visualización y el análisis espacial de las propiedades eléctricas del terreno

Base de Datos utilizada en MATLAB para la Simulación del Circuito RLC Serie

La siguiente base de datos corresponde a los parámetros eléctricos y condiciones iniciales empleadas en la simulación transitoria de un circuito RLC serie. Esta simulación permitió analizar la respuesta del sistema frente a un pulso de entrada tipo gaussiano, observando el comportamiento de la corriente y del voltaje en el capacitor.

1. Parámetros del circuito:

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
R	25	Ω	Resistencia en serie.
L	200e-6	H	Inductancia en serie.
C	50e-9	F	Capacitancia en serie.
V_o	5000	V	Amplitud máxima del pulso gaussiano.

2. Tiempo de simulación:

- Intervalo: 0 a 1 segundo.
- Incremento: 0.001 segundos.
- Número de puntos: 1000 muestras.

3. Función de entrada:

Pulso de voltaje gaussiano definido como:

$$V_{in}(t) = V_0 \cdot e^{-\left(\frac{t-0}{0.0003}\right)^2 / 0.0005^2}$$

Este pulso simula una perturbación rápida que podría representar un impulso eléctrico en un sistema real.

4. Condiciones iniciales:

- Corriente inicial (I_0): 0 A.
- Voltaje inicial en el capacitor (V_{c0}): 0 V.

5. Variables de salida simuladas:

- **I(t)**: Corriente en el circuito (A).
- **Vc(t)**: Voltaje en el capacitor (V).
- **Vin(t)**: Forma del pulso de entrada (V).

6. Resultados obtenidos:

Los datos generados fueron exportados en tres series temporales:

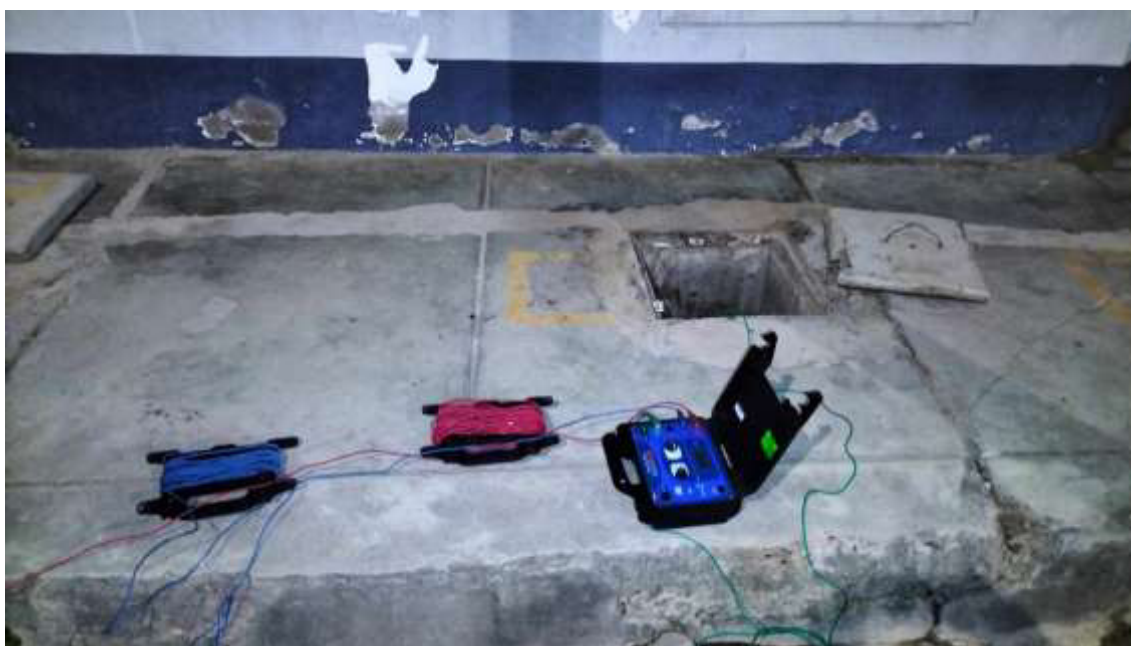
- **Vin(t)**: Pulso gaussiano de entrada.
- **Vc(t)**: Variación del voltaje en el capacitor a lo largo del tiempo.
- **I(t)**: Respuesta de la corriente en el circuito.

Las gráficas correspondientes muestran:

1. Impulso de entrada **Vin(t)**.
2. Voltaje en el capacitor **Vc(t)**.
3. Corriente en el circuito **I(t)**.

Estos resultados son útiles para entender cómo un sistema con componentes resistivos, inductivos y capacitivos reacciona frente a perturbaciones rápidas, información que es clave

para modelar el comportamiento eléctrico del sistema de puesta a tierra en condiciones de transitorios.

Anexo D. Panel fotográfico**TARAPOTO****JUANJUI****LAMAS**



RIOJA



Moyobamba



Anexo E. Matriz de Datos del Cuestionario de Satisfacción

A continuación se presenta la matriz de datos obtenidos mediante la aplicación del cuestionario de satisfacción a los 33 trabajadores de las entidades públicas evaluadas, distribuidos en las once sedes de la Corte Superior de Justicia, EsSalud y SUNARP de la región San Martín. Los datos recogen las respuestas en escala Likert (1 al 5) para tres indicadores: número de fallas percibidas, vida útil del equipo y continuidad del servicio, medidos antes y después de la implementación del sistema de puesta a tierra con pulpa de café.

Tabla A1. Matriz de datos del cuestionario de satisfacción del usuario final

N ^o	Entidad	Fallas Antes	Fallas Después	Vida útil Antes	Vida útil Después	Continuidad Antes	Continuidad Después	Total Antes	Total Después	Variación %
1	CSJ - Moyobamba	2	4	2	4	2	4	6	12	+100%
2	EsSalud - Moyobamba	2	4	2	4	2	4	6	12	+100%
3	SUNARP - Moyobamba	2	5	2	5	2	5	6	15	+150%
4	CSJ - Tarapoto	2	4	2	4	2	4	6	12	+100%
5	EsSalud - Rioja	2	4	2	4	2	4	6	12	+100%
...	(11 sedes en total)	...	...	...	...	...	...	...	...	...
33	SUNARP - Uchiza	2	4	2	5	2	5	6	14	+133%

Fuente: Elaboración propia. Escala Likert: 1 = Muy insatisfecho, 2 = Insatisfecho, 3 = Neutral, 4 = Satisfecho, 5 = Muy satisfecho. La columna "Total" suma los tres indicadores por participante (mínimo 3, máximo 15).

Anexo F. Confiabilidad del Instrumento

Resumen de procesamiento de casos		N	%
Casos	Válidos	30	100.0
	Excluidos ^a	0	.0
Total		30	100.0

Estadísticas de fiabilidad		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
.860	0.864	15

Anexo G. Validación del Instrumento

I. DATOS GENERALES

a) Apellidos y nombres: MG. Juan Carlos Silva Mendoza

b) Cargo e Institución donde labora: Metodólogo en Universidad Cesar Vallejo

c) Nombre del Instrumento motivo de evaluación: Cuestionario

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 – 20%	Regular 21-40%	Bueno 41- 60%	Muy Bueno 61- 80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.				80%	
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conducta observada.					82%
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.					83%
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.				80%	
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y claridad					85%
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del sistema de evaluación y el desarrollo de capacidades contables.					83%
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos, científicos de la tecnología contable.					86%
8. COHERENCIA	Entre los ítems, indicadores y las dimensiones.				80%	

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 – 20%	Regular 21-40%	Bueno 41- 60%	Muy Bueno 61- 80%	Excelente 81-100%
9. METODOLOGÍA	La estrategia contable responde al propósito del diagnóstico.					85%

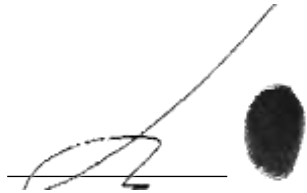
II. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

El instrumento cumple con los requisitos para validar la investigación

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

80% a 86%

Lima, 10 de abril de 2025



Firma del experto

Validación del Instrumento

I. DATOS GENERALES

a) Apellidos y nombres: Miguel Ángel Román Martínez

b) Cargo e Institución donde labora: Jefe de Informática en ODPE

c) Nombre del Instrumento motivo de evaluación: Cuestionario

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 – 20%	Regular 21-40%	Bueno 41- 60%	Muy Bueno 61- 80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.					85%
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conducta observada.					87%
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.					81%
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.					81%
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y claridad					83%
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del sistema de evaluación y el desarrollo de capacidades contables.					85%
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos, científicos de la tecnología contable.					88%
8. COHERENCIA	Entre los ítems, indicadores y las dimensiones.					81%

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 – 20%	Regular 21-40%	Bueno 41- 60%	Muy Bueno 61- 80%	Excelente 81-100%
9. METODOLOGÍA	La estrategia contable responde al propósito del diagnóstico.					89%

II. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

El instrumento cumple con los requisitos para validar la investigación

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

81% a 89%



Miguel Angel Flores Coronado
DOCTOR EN ADMINISTRACIÓN
Instituto de Estudios
CIP-322604

Firma del experto

Lima, 10 de abril de 2025

Validación del Instrumento

I. DATOS GENERALES

a) Apellidos y nombres: Izquierdo Pinedo Wilmer Segundo

b) Cargo e Institución donde labora: OGESS AM - Área de Infraestructura y Mantenimiento

c) Nombre del Instrumento motivo de evaluación: Cuestionario

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 – 20%	Regular 21-40%	Bueno 41- 60%	Muy Bueno 61- 80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.					84%
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conducta observada.				80%	
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.				80%	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.					81%
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y claridad				80%	
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del sistema de evaluación y el desarrollo de capacidades contables.					86%
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos, científicos de la tecnología contable.					81%
8. COHERENCIA	Entre los ítems, indicadores y las dimensiones.					85%

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0 – 20%	Regular 21-40%	Bueno 41- 60%	Muy Bueno 61- 80%	Excelente 81-100%
9. METODOLOGÍA	La estrategia contable responde al propósito del diagnóstico.					90%

II. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

El instrumento cumple con los requisitos para validar la investigación

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

80% a 90%



Firmado digitalmente por:
IZQUIERDO PINEDO WILLMER
SEGUNDO FIR 71880551 hard
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 10/04/2025 14:53:04-0500

Firma del experto

Lima, 10 de abril de 2025