



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

MODALIDAD: INFORME DE INVESTIGACIÓN

Título:

“ANÁLISIS DE FALLAS DE LOS AISLADORES DE PORCELANA DE 13,8 kV APLICANDO TÉCNICA DE ULTRASONIDO ACÚSTICO.”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en Electricidad
mención sistemas eléctricos de potencia

Autor:

Ing. Cruz Loya Miguel Ángel

Tutor:

Ing. MSc. Carlos Iván Quinatoa Caiza

LATACUNGA – ECUADOR

2023

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación **“ANÁLISIS DE FALLAS DE LOS AISLADORES DE PORCELANA DE 13,8 kV APLICANDO TÉCNICA DE ULTRASONIDO ACÚSTICO.”** presentado por: Cruz Loya Miguel Ángel, para optar por el título magíster en Electricidad mención sistemas eléctricos de potencia

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, 24 de julio del 2023



MSc. Carlos Iván Quinatoa Caiza

C.C.:050328786-4

AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “ANÁLISIS DE FALLAS DE LOS AISLADORES DE PORCELANA DE 13,8 kV APLICANDO TÉCNICA DE ULTRASONIDO ACÚSTICO.” ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de magíster en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, 24 de julio del 2023



.....
MSc. Pacheco Mena Carlos Francisco
C.C.: 050307290-2
Presidente del tribunal



.....
MSc. Hinojoza Guanoluisa Luis Eduardo
C.C.:050236581-0
Lector 2



.....
MSc. Porras Reyes Jefferson Alberto
C.C.: 070440044-9
Lector 3

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico, a mi amada esposa Yolanda que paz descanse, por su sacrificio y esfuerzo, por su amor, por su compañía y recordarme que los sueños son el primer paso para lograr las metas dignas de la vida de un hombre.

A mis padres Miguel y Rosa, que siempre han estado en el momento preciso para extenderme su mano, quienes me enseñaron a valorar los resultados de un gran esfuerzo

A mis hermanos Luis, Olga, Fausto, Patricia, Edwin y Daniel, que con su amor me han enseñado a salir adelante, gracias por estar en otro momento tan importante en mi vida.

A mi suegra Inés, porque siempre estuvo junto a mi familia.

A mis hijos David y Juan pablo, por darle sentido a mi vida y permitirme ser cada día mejor padre junto a ustedes.

Miguel Ángel Cruz Loya

AGRADECIMIENTO

Gracias a la universidad, por haberme permitido formarme en ella, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se ve reflejado en la culminación de esta meta.

A mis maestros por su profesionalismo y por su entrega, ya que sin egoísmo nos transmitieron su conocimiento, adquirido durante varios años de su experiencia.

A mi tutor Ing. MSc. Carlos Iván Quinatoa Caiza, por su humildad y entrega, para el desarrollo de nuestra investigación.

Miguel Ángel Cruz Loya

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribo, declaro que asumo la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, 24 de julio del 2023



.....
Ing. Miguel Ángel Cruz Loya
C.C.: 171251062-5

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cedo los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, 24 de julio del 2023



.....
Ing. Miguel Ángel Cruz Loya
C.C.: 171251062-5

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: **“ANÁLISIS DE FALLAS DE LOS AISLADORES DE PORCELANA DE 13,8 KV APLICANDO TÉCNICA DE ULTRASONIDO ACÚSTICO.”** contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, 24 de julio del 2023



.....
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
MSc. Pacheco Mena Carlos Francisco
C.C.- 050307290-2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Título: “ANÁLISIS DE FALLAS DE LOS AISLADORES DE PORCELANA DE 13,8 kV APLICANDO TÉCNICA DE ULTRASONIDO ACÚSTICO.”

Autor: Ing. Cruz Loya Miguel Ángel

Tutor: Ing. MSc. Carlos Iván Quinatoa Caiza

RESUMEN

El proyecto de investigación presentado tiene como objetivo principal realizar un análisis exhaustivo de las fallas de los aisladores de porcelana en los sistemas eléctricos de potencia a nivel de 13.8 kV, con el fin proponer soluciones para prevenir interrupciones en el suministro de energía eléctrica; Para lograr esto, se utilizó la técnica de ultrasonido acústico que es una herramienta no destructiva; Esta técnica se basa en la emisión de ondas sonoras de alta frecuencia que se propagan a través del material del aislador; Cuando estas ondas encuentran una anomalía, como el efecto corona, tracking o arco eléctrico, se produce una refracción que se registra en una forma de onda en función del tiempo; Esta forma de onda se puede analizar utilizando la Transformada de Fourier, que convierte la forma de onda en función de la frecuencia; De esta manera, se obtiene una stampa propia de cada elemento analizado que permite determinar el tipo de anomalía presente en el aislador; Se realizó una investigación bibliográfica y de campo para recopilar la información sobre los tipos de fallas como efecto corona, descargas parciales (Tracking) y arco eléctrico para evaluar la efectividad de la técnica de ultrasonido acústico en su detección; El proyecto se enmarca en las líneas de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi relacionadas con energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental; Se espera que los resultados de la investigación contribuyan a mejorar la calidad de energía y evitar interrupciones en el suministro eléctrico a través de medidas de diagnóstico y prevención mejorando la calidad de servicio para los usuarios finales.

PALABRAS CLAVE: Aislador eléctrico, ultrasonido acústico, diagnóstico, calidad del servicio eléctrico, efecto corona, descargas parciales, arco eléctrico.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Title: “Failure analysis from 13.8 kV porcelain insulators applying acoustic ultrasound technique”.

Author: Cruz Loya Miguel Ángel

Tutor: MSc. Carlos Iván Quinatoa Caiza

ABSTRACT

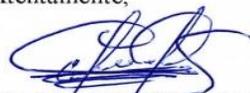
The presented research project has as main aim to perform a porcelain insulators failures exhaustive analysis in the electrical power systems at the 13.8 kV level, in order to propose solutions for preventing interruptions in the electrical energy supply. To achieve this, it was used the acoustic ultrasound technique, what is a non-destructive tool. This technique is based on the high frequency sound waves emission, which propagate, through the insulator material. When these waves find an anomaly, such as the corona effect, tracking or electric arc, it is produced a refraction occurs, which is recorded in a waveform as a time function. This waveform can be analyzed from using the Fourier Transform, what converts the waveform as a frequency function. This way, it was got a stamp each analyzed element, what allows determining the anomaly type present in the insulator. It was performed bibliographic and field research to collect information about the failures types, such as corona effect, partial discharges (Tracking) and electric arc for assessing the acoustic ultrasound technique effectiveness its detection. The project is framed the research lines from Cotopaxi Technical University related with alternative and renewable energies, energy efficiency and environmental protection. It is expected, what the research results will contribute to improving the energy quality and avoiding interruptions in the electrical supply, through diagnostic and preventive measures, by improving the service quality for end users.

KEYWORDS: Electrical isolator, acoustic ultrasound, diagnostics, electrical service quality, corona effect, partial discharge, electric arc.

Yo, Marco Paúl Beltrán Semblantes con cédula de identidad número: 0502666514 Magister en Lingüística Aplicada en la enseñanza del Idioma Inglés como Lengua Extranjera con número de registro de la SENESCYT ; 1020-2021-2354162: CERTIFICO haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: “ANÁLISIS DE FALLAS DE LOS AISLADORES DE PORCELANA 13,8 KV APLICANDO TÉCNICA DE ULTRASONIDO ACÚSTICO” de: **Cruz Loya Miguel Ángel**, aspirante a Magister en Electricidad. Mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

Latacunga, Julio del 2023.

Atentamente,



Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CC: 0502666514



**CENTRO
DE IDIOMAS**

INDICE DE CONTENIDO

AVAL DEL TUTOR	I
AVAL DEL TRIBUNAL	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	V
RENUNCIA DE DERECHOS.....	VI
AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL.....	VII
RESUMEN	VIII
INDICE DE CONTENIDO.....	X
INDICE DE TABLAS.....	XIII
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
INTRODUCCIÓN	65
Antecedentes. -.....	67
Planteamiento del problema. -.....	68
Formulación del problema. -.....	69
Objetivo General.	69
Objetivos Específicos:.....	69
Justificación. -.....	70
Hipótesis. -	71
Términos.	71
CAPÍTULO I	74
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA - METODOLÓGICA	74
1.1. Fundamentación del estado del arte.....	74
1.2. Fundamentación Teórica	76

1.2.1. Análisis por ultrasonido acústico	76
1.2.2. Medida de ultrasonido.....	77
1.2.3. Patrón acústico de aislamiento cerámico defectuoso.	78
1.2.4. Sistema de distribución eléctrica.....	79
1.2.5. Redes de distribución aéreas	80
1.2.6. Niveles de tensión que se aplican en los aisladores en el Ecuador.....	81
1.2.7. Aisladores.....	82
1.2.8. Descargas parciales (DPs) en los aisladores.....	84
1.3. Fundamentación Metodológica.....	85
1.3.1. Enfoque	85
1.3.2. Tipo de investigación.	86
Investigación Descriptiva.....	86
1.3.3. Qué son las hipótesis.	86
1.4. Conclusiones Capítulo I.....	87
CAPITULO II. PROPUESTA.....	88
2.1. Título de la propuesta.	88
2.2. Objetivo de la propuesta.	88
2.3. Descripción de la propuesta.....	88
2.4. Fundamentación de la propuesta.	89
2.5. Desarrollo de la metodología	90
2.5.1. FASE 1	90
2.5.1.1. Recolección de datos.....	90
2.5.2. FASE 2.....	92
2.5.2. FASE 3.....	95
CAPÍTULO III. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA.....	97
3.1. Análisis de los resultados:	97
3.2. Validación técnica – económica de los resultados:	104
3.3. Evaluación de expertos.....	109
3.5. Evaluación de impactos o resultados.....	112
3.6. Conclusiones del capítulo III.....	113
CONCLUSIONES GENERALES.	114

RECOMENDACIONES.....	115
BIBLIOGRAFÍA.....	117
ANEXO N.- 1 Manual y procedimiento de usuario	119
ANEXO N.- 2 Especificaciones técnicas equipo de ultrasonido acústico CTLR 101	125

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Valores de voltajes existentes en las redes eléctricas ecuatoriana.....	82
Tabla 2.	Especificaciones técnicas del equipo de ultrasonido acústico.....	91
Tabla 3.	Anomalías en cada punto de inspección	97
Tabla 4.	Costo de mano de obra.....	105
Tabla 5.	Costo de transporte y varios	106
Tabla 6.	Costo de equipos	106
Tabla 7.	Costo total	107
	107
Tabla 8.	Costo total de la inspección	107
Tabla 9.	Costo de la energía no facturada	108
Tabla 10.	Costo beneficio del análisis de falla	108

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	<i>Áreas de prestación del servicio público de energía eléctrica.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 2.</i>	<i>Figura 1 Rangos de sonido.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 3.</i>	<i>Redes de distribución eléctrica</i>	<i>80</i>
<i>Figura 4.</i>	<i>Aislador de suspensión 13.8 kV.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 5.</i>	<i>Aislador espiga pin 13.8 kV.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 6.</i>	<i>Flujograma de la recolección de datos en la ejecución de las inspecciones.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 7.</i>	<i>Efecto corona, forma de onda en función del tiempo</i>	<i>93</i>
<i>Figura 8.</i>	<i>Efecto corona, forma de onda en función de la frecuencia.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 9.</i>	<i>Tracking, forma de onda en función del tiempo</i>	<i>93</i>
<i>Figura 10.</i>	<i>Tracking, forma de onda en función de la frecuencia.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 11.</i>	<i>Arco eléctrico, forma de onda en función del tiempo.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 12.</i>	<i>Arco eléctrico, forma de onda en función de la frecuencia</i>	<i>94</i>
<i>Figura 13.</i>	<i>Árbol de decisiones de la técnica de ultrasonido acústico</i>	<i>95</i>
<i>Figura 14.</i>	<i>Puntos inspeccionados.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 15.</i>	<i>Prioridad de mantenimiento</i>	<i>101</i>
<i>Figura 16.</i>	<i>Probabilidad de desconexión</i>	<i>101</i>
<i>Figura 17.</i>	<i>Ultrasonido acústico (Efecto corona).....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 18.</i>	<i>Ultrasonido acústico (Tracking eléctrico).....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 19.</i>	<i>Ultrasonido acústico (Arco eléctrico).....</i>	<i>104</i>

INDICE DE TERMINOS

<i>Calidad del servicio:</i>	72
<i>Calidad del producto:</i>	72
<i>Calidad del servicio técnico:</i>	72
<i>Consumidor o usuario final:</i>	72
<i>Desgaste:</i>	72
<i>Empresa eléctrica de distribución o distribuidora:</i>	72
<i>Frecuencia de las interrupciones:</i>	72
<i>Falla:</i>	72
<i>Frecuencia:</i>	72
<i>Espectro:</i>	72
<i>Interrupción:</i>	73
<i>Inspección:</i>	73
<i>Onda Longitudinal:</i>	73
<i>Sonido:</i>	73
<i>Sistema de distribución:</i>	73
<i>Ultrasonido:</i>	73

INTRODUCCIÓN

El sistema eléctrico de potencia (SEP), tiene como uno de los objetivos transportar la energía eléctrica, desde las centrales de generación hasta los centros de consumo, en forma continua. Para lo cual, se debe mantener todos los elementos que conforman el SEP, en operación y en constante funcionamiento.

El Ecuador ha dividido la infraestructura eléctrica en 3 grupos: generación, transmisión y distribución, las mismas que depende la una de la otra, para cumplir con el objetivo mencionado.

El territorio del Ecuador, con una superficie de 256.237 km², se encuentra dividido en 20 áreas de prestación del servicio público de energía eléctrica. De estas áreas, 11 están asignadas a las Unidades de Negocio de la Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP), mientras que las otras 9 áreas están asignadas a empresas eléctricas de tipo sociedad anónima. Esta división de la infraestructura eléctrica en diferentes áreas permite una gestión más eficiente y efectiva del suministro de energía eléctrica en todo el país en la figura 1 se observa las áreas de concesión del servicio público de energía eléctrica del Ecuador[1].

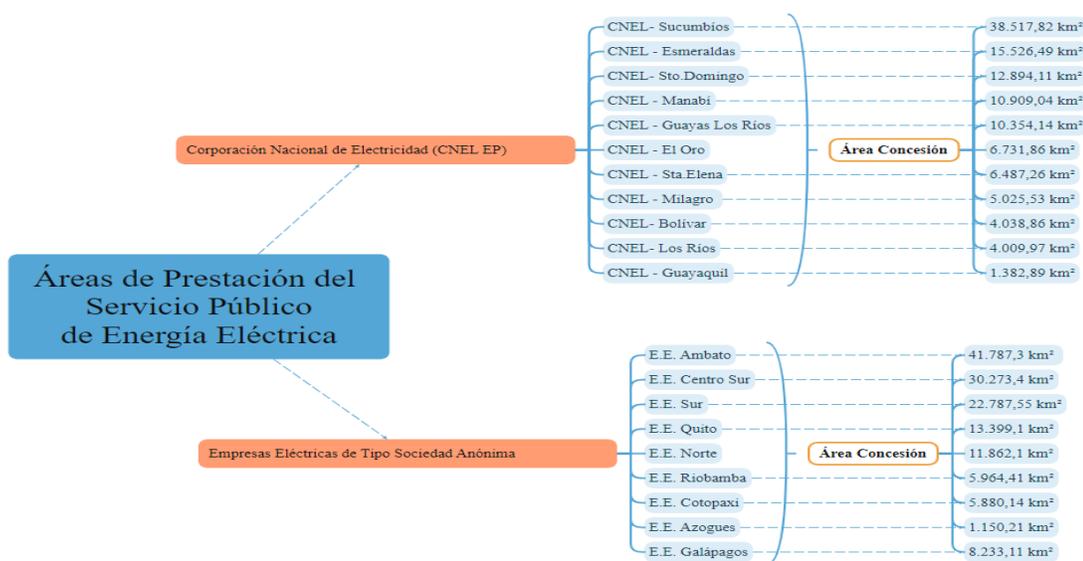


Figura 1. Áreas de prestación del servicio público de energía eléctrica

Las líneas de distribución, las cuales son de interés del presente estudio, se encuentran inmersas dentro de la infraestructura de distribución, mismas que son operadas por las empresas eléctrica mencionadas, en su mayoría a un nivel de voltaje de 13.8 kV.

Para el mantenimiento del SEP, se realiza complejos estudios, diseños, planeamientos, inversión económica y delicadas operaciones, que garanticen la calidad del servicio técnico, calidad de servicio comercial y calidad de producto.

La agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables, en su regulación ARCERNNR-003/2023, determina que el Estado será responsable de la provisión de servicios públicos, dentro de los cuales el de energía eléctrica, en función de los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad[2].

En tanto que las empresas eléctricas distribuidoras, al ser responsables de las líneas de distribución, como parte de sus funciones, deben garantizar la calidad del servicio técnico.

El proyecto de investigación se lleva a cabo en Ecuador, y se destaca la falta de normas, procedimientos, seguimientos, tendencias y planes de mantenimiento predictivo con la técnica de ultrasonido acústico propios del país. El objetivo principal del proyecto es proporcionar una base inicial para la elaboración de estos procedimientos y planes de mantenimiento predictivo, lo que permitirá mejorar la calidad del servicio eléctrico y prevenir interrupciones en el suministro de energía eléctrica.

Las líneas de distribución en Ecuador se caracterizan por tener una topología radial en su mayoría. Esto significa que, en caso de una falla, el alimentador principal de la subestación de distribución se quedaría sin energía eléctrica, lo que resultaría en interrupciones en el suministro para un gran número de usuarios. Por esta razón, es de gran interés llevar a cabo una investigación sobre el análisis de fallas en los aisladores de porcelana a nivel de 13.8 kV en las líneas de distribución. Se utiliza la técnica de ultrasonido acústico para detectar anomalías y prever interrupciones no programadas

en el suministro de energía eléctrica. Estas interrupciones pueden ser causadas por diversos factores como corrosión, degradación, mal contacto eléctrico, contaminación, problemas constructivos, esfuerzos mecánicos, entre otros.

Antecedentes. - La presente investigación está directamente relacionada con las líneas de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, específicamente en el campo de energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental. La investigación se enmarca en la sub-línea de explotación y diseño de sistemas de potencia y su temática de calidad de energía. El tema de la investigación es "Análisis de fallas de los aisladores de porcelana a nivel de 13,8 kV aplicado con la técnica de ultrasonido acústico". Es importante destacar que, al ser un proyecto que se enfoca en los aisladores eléctricos, permitirá prevenir fallas por parte de las empresas distribuidoras, lo que se traducirá en una mejora en la calidad de energía para los usuarios finales.

El plan maestro de Electricidad 2019-2027 tiene como objetivo mejorar y ampliar la distribución de energía eléctrica. En su apartado 1.5.2.1., se propone la modernización y automatización de la información de la distribución de energía, con el fin de aumentar el porcentaje de dispositivos para medir y controlar la transmisión de energía. Esto incluye la instalación de sistemas de medición avanzada (AMI), la automatización de alimentadores, subestaciones automatizadas, transformadores de distribución monitoreados y el monitoreo de líneas de distribución. Estas medidas buscan obtener más información y mejorar la calidad de la energía eléctrica. Además, se busca ampliar la infraestructura eléctrica para satisfacer la creciente demanda de energía.

La información proporcionada en los textos no menciona específicamente si la investigación busca establecer una base que pueda ser modificada, mejorada e implementada como una norma general para las empresas distribuidoras de energía. Sin embargo, es plausible que este sea uno de los objetivos de la investigación, ya que se menciona la importancia de cumplir con las regulaciones específicas en cuanto a la calidad del servicio técnico y mantener la fiabilidad y continuidad del servicio eléctrico. La implementación de un análisis y metodología de mantenimiento

predictivo con la técnica de ultrasonido acústico podría contribuir a mejorar la eficiencia y reducir las interrupciones no programadas en el sistema de distribución de energía eléctrica en Ecuador.

Planteamiento del problema. - Durante la última década, el sector eléctrico ecuatoriano ha logrado aumentar significativamente su capacidad instalada, en la distribución de energía eléctrica, y con el objetivo de brindar siempre un mejor servicio a los usuarios, se ha hecho un alto énfasis en la medición de la calidad del servicio, a través de los diferentes indicadores establecidos como son la Frecuencia Media de Interrupciones (FMIk) y el Tiempo Total de Interrupciones (TTIk), por esta razón desde el punto de vista de las empresas eléctricas de distribución, se ha impulsado la reducción del índice de pérdidas de energía por causas de fallas prematuras en el sistema.

El sistema nacional interconectado permite transportar la energía desde un punto de generación hacia un punto de consumo se basa en un enlace físico entre dos subestaciones y está conformado por varios elementos: estructuras metálicas, conductores, aisladores y accesorios. La función de los aisladores eléctricos de porcelana es mantener aisladas o alejadas las líneas energizadas de la estructura y sus elementos que la conforman

Debido que el sistema nacional interconectado eléctrico es una red de componentes eléctricos y su correcto funcionamiento depende de la confiabilidad con la que cuente en donde interviene sus aisladores de porcelana como principal componente aislante. Es por ello que los aisladores de soporte como de suspensión deben cumplir una mayor resistencia a la degradación de la superficie ya que están sometidos a diferentes tipos de condiciones climáticas. Con lo mencionado anteriormente se propone realizar una inspección con la técnica de ultrasónico acústico y con los datos obtenidos analizar las fallas en los aisladores que permitan el óptimo funcionamiento de estos elementos para así mejorar los índices establecidos de calidad del servicio eléctrico.

Formulación del problema. – Debido que las fallas de los aisladores en el sistema eléctrico constituyen una problemática en la continuidad del servicio, es necesario realizar la detección por el método de ultrasonido acústico que permita mitigar las interrupciones en el suministro de energía eléctrica.

Objetivo General. – Efectuar un análisis de las fallas de los aisladores, mediante la técnica de ultrasonido acústico, para realizar tareas de diagnóstico que permitan mitigar las interrupciones en el suministro de energía eléctrica.

Objetivos Específicos:

- 1.- Investigar el estado del arte, la bibliografía de los aisladores de porcelana y la técnica de ultrasonido acústico.
- 2.- Realizar inspecciones y recolección de datos IN-SITU.
- 3.- Analizar los datos obtenidos que nos permitan detectar anomalías y mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico.

Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos: para complementar los objetivos específicos se plantean las siguientes tareas:

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Investigar el estado del arte y la bibliografía de las fallas de los aisladores de porcelana y la técnica de ultrasonido acústico.	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación de información científica. • Revisión de las características de la técnica de ultrasonido acústico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer el diagnóstico y tipos de fallas de aislamiento de los aisladores de porcelana. • Definir las fallas de aislamiento de los aisladores de porcelana para el proyecto de investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso a información verídica en base de datos (Tesis, libros, revistas y web).

Realizar inspecciones y recolección de datos IN-SITU.	<ul style="list-style-type: none"> • Consultar normas relacionadas nacionales e internacionales. • Revisar sobre los manuales de operación y funcionamiento de los equipos 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizamos el equipo CTRL Systems. • Conocemos la operación del equipo. • Ejecutamos las inspecciones y obtención de la información in situ con la técnica de ultrasonido acústico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizamos la inspección con la técnica de ultrasonido acústico. • Adquisición de muestras e información in situ.
Analizar los datos obtenidos IN-SITU para detectar anomalías y mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico.	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar el tipo de falla del aislamiento. • Establecer un diagnóstico y prioridades de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizamos un diagnóstico técnico para conocer el tipo de falla del aislador (Efecto corona, tracking y arco eléctrico) 	<ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de datos con el equipo CTRL Systems. • Adquisición de las señales ultrasónicas mediante el software Matlab.

Justificación. - La presente investigación se enfocará en la inspección y diagnóstico para identificar los aisladores con anomalías, antes de que suceda un fallo que se pueden presentar en el sistema eléctrico, tomando en cuenta que el sistema eléctrico de distribución juega un papel importante en el suministro de energía eléctrica, la detección de ultrasonido acústico es una técnica rápida y segura para prever o anticipar acciones ante una probable situación de falla eléctrica, mejorando la confiabilidad de la red, disminuyendo las frecuencias de fallas, tiempo de interrupciones no programadas y optimizando la gestión del personal técnico de mantenimiento de las empresas distribuidoras de energía eléctrica.

Los aisladores cumplen una función importante que le dan confiabilidad a la red eléctrica de distribución, su desempeño que ha tenido en las líneas eléctricas aéreas y su evolución han ido de la mano con el crecimiento de los sistemas eléctricos de potencia, sistemas que conforme pasaban los años se hacen más complejos, exigen aisladores de mejores características técnicas, la función de los aisladores es brindar soporte mecánico a los componentes eléctricos y mantener separación física necesaria entre estos componentes para asegurar el aislamiento eléctrico, estos elementos se encuentran a la intemperie y funcionan bajo diferentes condiciones ambientales que los hacen propensos a fallas, por tanto, surge la importancia de realizar un análisis de fallas de estos componentes.

Es importante resaltar que la gestión del mantenimiento del sistema eléctrico está enfocada en la inspección y monitoreo de los diferentes componentes que conforman la red, para prever acciones ante fallos potenciales, con la técnica de ultrasonido acústico se obtendrá datos que serán relevantes que aportarán al momento del diagnóstico de los síntomas de los fallos de los activos, que nos dará como resultado un seguimiento y control, mejorando la confiabilidad operativa, y así asegurar la continuidad de operación del sistema eléctrico, aportando a mejorar los índices de calidad de servicio cumpliendo con la regulación Nro. ARCONEL-005/18 de la calidad del servicio técnico, enmarcado en los indicadores de Frecuencia media de interrupción (FMIK) y el Tiempo total de interrupción (TTIK).

Hipótesis. - La técnica de ultrasonido acústico, permitirá detectar anomalías que se pueden presentar en los aisladores de porcelana de las líneas de distribución antes que se produzca una falla reduciendo costos de mantenimiento no programados y mejorar la confiabilidad del servicio eléctrico.

Términos.

A continuación, se definen algunos conceptos técnicos que permitan identificar con mayor facilidad el tema desarrollado en el presente trabajo de investigación.

Calidad del servicio: Se compone de tres aspectos principales: calidad del producto, calidad del servicio técnico y calidad del servicio comercial. Estos atributos técnicos y comerciales son inherentes a la prestación del servicio y establecen las condiciones en las que debe desarrollarse[3].

Calidad del producto: Se refiere a la confiabilidad y estabilidad de la energía suministrada, asegurando que cumpla con los estándares de voltaje, frecuencia y otras características técnicas[3].

Calidad del servicio técnico: Se relaciona con la capacidad de mantener y restaurar el suministro eléctrico de manera eficiente y oportuna. Esto implica la detección y resolución de fallas, así como la implementación de medidas preventivas para evitar interrupciones no programadas[3].

Consumidor o usuario final: Persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación del servicio público de energía eléctrica, bien como propietario del inmueble en donde este se presta, o como receptor directo del servicio[3].

Desgaste: Es el daño sobre una superficie que se produce cuando existe pérdida de material en una o ambas superficies sólidas que se encuentran en movimiento[4].

Empresa eléctrica de distribución o distribuidora: Persona jurídica cuyo título habilitante le faculta realizar las actividades de distribución y comercialización de energía eléctrica y alumbrado público general, dentro de su área de servicio[3].

Frecuencia de las interrupciones: Es el número de veces, en un periodo determinado, que se interrumpe el suministro de energía eléctrica a un consumidor[3].

Falla: Fin de la capacidad de un elemento de realizar la función requerida[4].

Frecuencia: Es el número de vibraciones que un cuerpo hace por segundo se denomina frecuencia y es comúnmente medida en Hertz[5].

Espectro: Es una gráfica que muestra el comportamiento de una vibración en función de la frecuencia[5].

Interrupción: Es el corte o suspensión del suministro de electricidad a los consumidores del área de servicio de la empresa eléctrica de distribución[4].

Inspección: Verificación de conformidad mediante mediciones, observaciones, detecciones, pruebas o calibración de características relevantes de un elemento[4].

Onda Longitudinal: Es una onda cuyas partículas se mueven en forma paralela a su dirección de propagación[6].

Sonido: Es una onda mecánica longitudinal que se propaga a través de un medio elástico[5].

Sistema de distribución: Comprende las líneas de subtransmisión, las subestaciones de distribución, los alimentadores primarios, los transformadores de distribución, las redes secundarias, las acometidas, el equipamiento de compensación, protección, maniobra, medición, control y comunicaciones, utilizados para la prestación del servicio de distribución de energía eléctrica[3].

Ultrasonido: Son ondas de sonido con frecuencias por encima del límite audible humano, o en exceso de 20000 Hertz[5].

Vibración: Es la oscilación de un objeto con respecto a su posición de reposo[6].

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA - METODOLÓGICA

1.1. Fundamentación del estado del arte. - En los últimos años el país ha experimentado un cambio notable en su matriz energética, el desarrollo del sector energético es estratégico para el Ecuador, donde el sistema eléctrico cumple un papel muy importante en la distribución de la energía eléctrica, por tal razón las fallas en los sistemas eléctricos constituyen una problemática, por tal motivo dentro del trabajo de investigación se aplicará el método de inspecciones en IN-SITU, con la técnica de ultrasonido acústico con una metodología para detectar anomalías y prever interrupciones de suministro, no programadas, por ello se ha recopilado trabajos anteriores que poseen variables de acuerdo al tema de investigación, los cuales se detallan a continuación.

En la Universidad Politécnica Salesiana se desarrolló una; Propuesta sobre Modelamiento y simulación del efecto “flashover voltage” en los aisladores de suspensión de las líneas de transmisión de 500 kV, ante el impacto de la caída de ceniza del volcán Cotopaxi en la zona de mayor influencia, cuyo objetivo fue modelar y simular el efecto “flashover voltage” en los aisladores de suspensión de las líneas de transmisión de 500 KV, mediante simulación estática computacional y matemática, para determinar las condiciones normales y críticas de la caída de ceniza[7].

Se presenta una propuesta para el análisis matemático de aisladores aplicado a aisladores de porcelana, polímero y vidrio, a nivel de 13.8 kV, con objetivo de determinar el funcionamiento y diferencias de los tipos de aisladores simulando escenarios ambientales críticos y normales con pruebas en el laboratorio de alta tensión[8].

En la Universidad Técnica de Cotopaxi se desarrolló una propuesta con el tema: Mantenimiento predictivo aplicando técnicas: visuales, termográficas, efecto corona y ultrasonido acústico para detectar anomalías y prever interrupciones de energía eléctrica, no programadas, de las líneas de subtransmisión en el Ecuador con el objetivo

de desarrollar una metodología de mantenimiento predictivo, para detectar anomalías mecánicas y eléctricas; y prever interrupciones de energía eléctrica, no programadas[9].

Se realizó en la Universidad Politécnica Salesiana la determinación y análisis de descargas parciales mediante sensores de emisiones acústicas en aisladores tipo pin 55-5, con el objetivo de identificar descargas parciales producidas en aisladores Tipo Pin 55-5 a niveles de tensión iguales o mayores a los niveles nominales para los cuales están diseñados estos equipos, detectados las emisiones acústicas por este fenómeno[10].

En el procedimiento para el mantenimiento predictivo en subestaciones de 115 / 34,5 / 13,8 kV, utilizando técnicas de termografía y ultrasonido. caso de estudio. Empresa electricidad de Valencia, tuvo la finalidad de analizar la aplicación de la termografía infrarroja y el ultrasonido como técnicas de mantenimiento predictivo de equipos, dispositivos o elementos presentes en las subestaciones con niveles de tensión de 115 / 34,5 / 13,8 kV[11].

Se realizó En la Universidad Nacional de Colombia el estudio y Clasificación de Aislamiento Cerámico de Media Tensión mediante Ensayos de Laboratorio y Tratamiento de Señales de Ultrasonido, los resultados obtenidos confirmaron que el fenómeno de corona audible no solo se concentra en las bajas frecuencias del espectro acústico, sino, que los aislamientos que presentaron la mayor afectación después de los ensayos de tensión [12].

En la Investigación de Escuela Politécnica Nacional de Argel la elaboración de un nuevo algoritmo de procesamiento de imágenes para el reconocimiento de descargas de arco en un modelo de aislador contaminado de alta tensión, introduce un procesamiento de imágenes como una herramienta eficiente y rápida para el análisis de actividad de descargas y monitoreo de descarga disruptiva del aislador[13].

En la revista de investigaciones, European Transactions on Electrical Power se investigó el tema: Detección de corona en superficies de aisladores mediante sensores

de ultrasonido y sistemas de transmisión de fibra óptica, se detalla que análisis de la señal recibida se realiza en el tiempo dominio y la posibilidad de utilizar dicho sistema en una subestación de alto voltaje para detectar corona en las superficies de aisladores y bujes se discute[14].

En la investigación de la revista, *Measurement (Lond)*, vol. 211 realizó, el efecto del impulso de nanosegundos y la excitación escalonada en mediciones electroacústicas pulsadas en señales para la determinación de carga espacial en aislamiento eléctrico de alto voltaje, dando como resultado, el análisis y resultados experimentales amplían la comprensión de las mediciones electroacústicas pulsadas, especialmente con un enfoque en aplicaciones de diagnóstico[15].

1.2. Fundamentación Teórica

1.2.1. Análisis por ultrasonido acústico

La técnica de ultrasonido es una herramienta poderosa utilizada en el diagnóstico de fallas en redes de distribución de media y alta tensión. Esta técnica capta rangos de frecuencias mayores a los 20.000 Hz, lo que permite la detección temprana y localización exacta de fallas categorizadas como efecto corona, tracking eléctrico y arco eléctrico.

El ultrasonido se propaga a través del aire y las estructuras, y cuando encuentra una falla, se produce una reflexión o un cambio en la señal que es detectado por el equipo de ultrasonido. La ubicación exacta de la falla se puede determinar midiendo el tiempo que tarda la señal en viajar desde el transmisor hasta el receptor. La técnica de ultrasonido acústico se complementa con la termografía para detectar puntos de falla no localizables a través de la inspección visual en el sistema y disminuir ostensiblemente las fallas no determinadas[16].

Las ventajas del ultrasonido:

- Direccional.
- Localizable.
- Utilización en todos los ambientes.

- Indicación de las fallas incipientes.
- Soporte para otras tecnologías.

El oído humano puede escuchar sonidos en el rango de 20Hz a 20.000Hz (20 kHz). Sin embargo, la mayoría de los equipos que detectan ultrasonido comienzan a partir de los 20kHz y pueden llegar hasta los 100kHz. Esto significa que los equipos de ultrasonido pueden detectar sonidos que están por encima del rango audible para los humanos. Los instrumentos que captan este nivel de frecuencia de ultrasonido son sensibles a los sonidos que no están incluidos dentro del rango auditivo humano y convierten las señales de ultrasonido al rango audible humano para su detección y análisis.

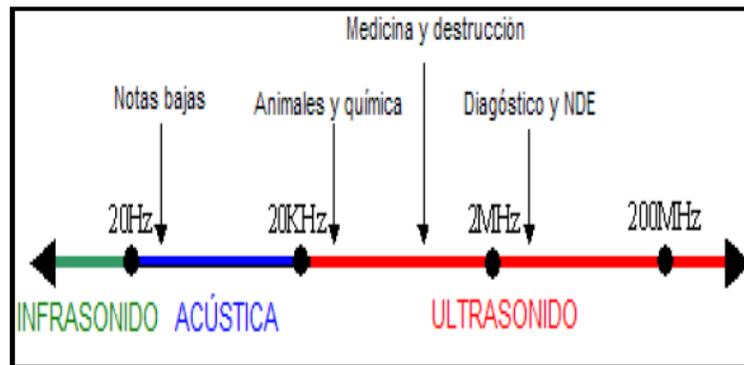


Figura 2. Figura 1 Rangos de sonido

1.2.2. Medida de ultrasonido.

Como se ha descrito anteriormente algunos defectos de tipo superficial sobre aislamientos, emiten ultrasonidos cuando se encuentran sometidos a alta tensión, el nivel de ruido producido, depende del nivel de tensión, tipo de defecto entre otras. Aquellos factores que puedan producir dilatación del aire pueden afectar la lectura, como también la distancia a la cual se haga el ensayo. Para efectos de comparación, todos los ruidos emitidos por los aislamientos, deben ser captados en la misma ubicación, bajo los mismos parámetros de sensibilidad del equipo de prueba e idealmente en las mismas condiciones atmosféricas[12].

1.2.3. Patrón acústico de aislamiento cerámico defectuoso.

Efecto corona

Es un fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de las líneas de alta y media tensión. Se manifiesta en forma de halo luminoso a su alrededor y es causado por la ionización del aire circundante al conductor debido a la colisión de electrones libres que se escapan del sistema, o por adición de electrones al pasar por una órbita de algún átomo capaz de contener esa energía. En el momento en que las moléculas de aire se ionizan, son capaces de conducir la corriente eléctrica y parte de los electrones que circulan por la línea pasan a circular por el aire. Tal circulación produce un aro de un color rojizo para niveles bajos de temperatura, o azulado para niveles altos.

El ruido provocado por el efecto corona consiste en un zumbido de baja frecuencia (básicamente de 100 Hz), provocado por el movimiento de los iones y un chisporroteo producido por las descargas eléctricas (entre 0,4 y 16 kHz)[17].

Tracking Eléctrico

Es un fenómeno que ocurre cuando la superficie de los aislantes está sometida a un gran estrés eléctrico o contaminación por polvo, sales minerales o humedad. Se produce un camino eléctrico superficial por donde aparecen arborescencias eléctricas bidimensionales. Este fenómeno se da cuando el material ha sido deteriorado por el efecto corona[18]

El tracking puede causar daños en los aislantes y provocar descargas superficiales sobre ellos. Cuando este fenómeno ha producido un daño avanzado sobre el aislador se denomina "tracking destructivo".

Arco Eléctrico

La descarga de arco es un fenómeno eléctrico que se produce entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial y colocados en el seno de una atmósfera gaseosa enrarecida, normalmente a baja presión, o al aire libre. Durante el tiempo de la descarga se produce una luminosidad muy intensa y un gran desprendimiento de calor. Este fenómeno puede ser sumamente destructivo en caso de ser accidental, como ocurre con la perforación de aisladores o de los aislantes de conductores y otros elementos eléctricos o electrónicos[19].

1.2.4. Sistema de distribución eléctrica

Un sistema de distribución eléctrica debe estar constituido por un equipo y materiales unidos de tal manera que puedan cumplir eficientemente su cometido, llenando a la vez los siguientes requisitos indispensables[20]:

- **Elasticidad:** es decir presentar las menores dificultades para expansiones, un mínimo de gastos y sin perjuicios del resto de abonados.
- **Voltaje:** Las variaciones de voltaje y sus caídas, deben ser tales que no perjudiquen el buen funcionamiento de los artefactos domésticos.
- **Continuidad de servicio:** No debe producirse interrupciones bajo condiciones normales de funcionamiento.
- **Seguridad:** Presentará las respectivas normas para evitar accidentes de personas que trabajan en las líneas.
- **Economía:** Deben demandar el mínimo gasto de operación y mantenimiento.

En resumen, es importante que una red de distribución esté bien calculada para evitar caídas de tensión excesivas, cumplir con los reglamentos de alturas de montaje y evitar el calentamiento excesivo de los conductores. Estos factores son importantes para garantizar la seguridad y la calidad del servicio eléctrico, así como para mantener la integridad de los componentes de la red de distribución.

1.2.5. Redes de distribución aéreas

En esta modalidad, el conductor que usualmente está desnudo, va soportado a través de aisladores instalados en crucetas, en postes de madera o de concreto[21].

Al comparársele con el sistema subterráneo tiene las siguientes ventajas:

- Costo inicial más bajo.
- Son las más comunes y materiales de fácil consecución.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil localización de fallas.
- Tiempos de construcción más bajos.

Y tiene las siguientes desventajas:

- Mal aspecto estético.
- Menor confiabilidad.
- Menor seguridad (ofrece más peligro para los transeúntes).
Son susceptibles de fallas y cortes de energía ya que están expuestas a: descargas atmosféricas, lluvia, granizo, polvo, temblores, gases contaminantes, brisa salina, vientos, contactos con cuerpos extraños, choques de vehículos y vandalismo.

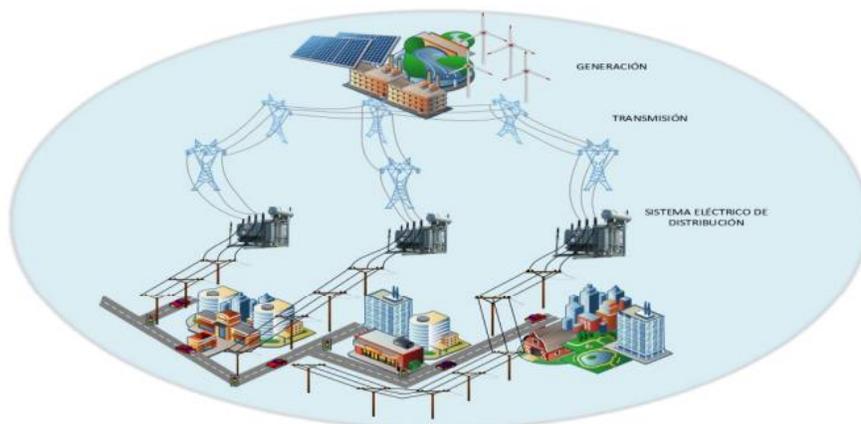


Figura 3. Redes de distribución eléctrica

Las partes principales de un sistema aéreo son esencialmente:

a) Postes: que pueden ser de madera, concreto o metálicos y sus características de peso, longitud y resistencia a la rotura son determinadas por el tipo de construcción de los circuitos. Son utilizados para sistemas urbanos postes de concreto de 14, 12 y 10 metros con resistencia de rotura de 1050, 750 y 510 kg respectivamente.

b) Conductores: son utilizados para circuitos primarios el Aluminio y el ACSR desnudos y en calibres 4/0, 2/0, 1/0 y 2 AWG y para circuitos secundarios en cables desnudos o aislados y en los mismos calibres. Estos circuitos son de 3 y 4 hilos con neutro puesto a tierra. Paralelo a estos circuitos van los conductores de alumbrado público.

c) Crucetas: son utilizadas crucetas de madera inmunizada o de ángulo de hierro galvanizado de 2 metros para 13.2 kV. y 11.4 kV. con diagonales en varilla o de ángulo de hierro (pié de amigo).

d) Aisladores: Son de tipo ANSI 55.5 para media tensión (espigo y disco) y ANSI 53.3 para baja tensión (carretes).

e) Herrajes: todos los herrajes utilizados en redes aéreas de baja y mediana tensión son de acero galvanizado. (grapapas, varillas de anclaje, tornillos de máquina, collarines, uest, espigos, etc).

f) Equipos de seccionamiento: el seccionamiento se efectúa con cortacircuitos y seccionadores monoplares para operar sin carga (100 A - 200 A).

g) Transformadores y protecciones: se emplean transformadores monofásicos con los siguientes valores de potencia o nominales: 25 - 37.5 - 50 - 75 kVA y para transformadores trifásicos de 30 - 45 - 75 -112.5 y 150 kVA protegidos por cortacircuitos, fusible y pararrayos tipo válvula de 12 kV.

1.2.6. Niveles de tensión que se aplican en los aisladores en el Ecuador

Los niveles de tensión que se emplea en las redes ecuatorianas son de baja, media y alta tensión, considerando como ejemplo la red domiciliaria el nivel básico de tensión,

la cual comprende entre los 120 V y los 220 V a una frecuencia de 60Hz[3]. Por detrás del voltaje de baja existen redes de media y alta tensión, los cuales van desde la salida de la estación generadora, consecutivamente, a las redes transmisoras y subtransmisoras, hasta llegar a cada punto de consumo, siendo los niveles de tensión los siguientes:

Tabla 1. Valores de voltajes existentes en las redes eléctricas ecuatoriana.

Niveles de Voltaje	
Alta Tensión	40kV- 69 kV- 138 kV- 230 kV
Media Tensión	600 V- 40 kV
Baja Tensión	120 V – 600 V

1.2.7. Aisladores

El aislador realiza el trabajo de dar un soporte rígido o flexible a conductores o equipos de manera mecánica, cumpliendo la función de aislar eléctricamente conductores, equipos respecto a tierra y con respecto a otros conductores[22]. Los aisladores son elaborados en porcelana, vidrio y de materiales compuestos, ofreciendo la máxima estabilidad térmica a su tensión más alta.

- Hablando eléctricamente es, mantener aislado al conductor de un potencial diferente como por ejemplo la tierra.
- Hablando mecánicamente es, la de poder soportar el peso del conductor.

A continuación, se muestra en la figura 4, los tipos de aisladores, según el material de construcción, utilizados en las líneas de subtransmisión en el Ecuador: cerámico, vidrio y polímero.

Aisladores de campana o suspensión: fabricados en vidrio o porcelana, los cuales pueden formar cadenas de aisladores ya que poseen elementos metálicos para su articulación[23]. Según la norma ANSI 52.1 y ANSI 52.2 este tipo de

aislador se puede utilizar en niveles de tensión comprendidos desde los 13.2 kV, 33 kV, 34.5 kV, 44 kV[24].



Figura 4. Aislador de suspensión 13.8 kV

Aisladores tipo espiga o pin: generalmente son de porcelana, elaborados en una o dos piezas (pin simple o pin doble), se utiliza en las líneas de distribución en estructuras tangentes como angulares según la norma ANSI 56.3[23]. Los cuales son empleados para tensiones desde los 13.2 kV, 22kV, 33kV, 34.5 kV y hasta los 63 kV[24].



Figura 5. Aislador espiga pin 13.8 kV

1.2.8. Descargas parciales (DPs) en los aisladores

Es un fenómeno transitorio de ionización, que se produce por alguna pequeña imperfección del aislamiento sea este líquido o sólido, originando un exceso de campo eléctrico o estrés, el cual rompe la rigidez dieléctrica y genera pequeños impulsos de corriente en tiempos de micro y nanos segundos, llevando a la descomposición del dieléctrico. Las causas más comunes que dan origen a las DP son: impurezas, grietas, burbujas, huecos etc[25].

Tipos de descargas parciales

Se clasifican según la zona de la DP, estas pueden ser: Descargas superficiales, descargas de corona, descargas internas.

Descargas superficiales

La DP ocurre entre el aislante y el aire, esto se da por la contaminación y la humedad que puede existir en el medio ambiente, haciendo aparecer campos eléctricos tangenciales provocando la DP, a la vez causando daño en el aislante como grietas y flameo del aislador[25].

Descargas de corona

Produciéndose dentro de gases dieléctricos líquidos, conductores de alta tensión que están en contaminación o lluvia, ocasionando un fuerte campo eléctrico, el cual produce la DP en forma de corona[25].

Descargas internas

La descarga ocurre en aislantes sólidos y líquidos que poseen una baja rigidez dieléctrica, causada por huecos, fisuras, burbujas, fallas constructivas, etc., acumulando campos eléctricos que producen la DP. Este tipo de descarga es la más dañina y difícil de diagnosticar, por lo que no presenta señales visibles o auditivas, llegando a la explosión o flameo del aislante[25].

1.3. Fundamentación Metodológica.

1.3.21. Enfoque

Esta investigación tiene además de validar la información unos objetivos trazados, que está enfocado en el método de tipo cuantitativo, el cual permite la recolección de datos para su posterior verificación, para darle un grado de severidad.

La primera etapa de la investigación analiza el modelo de fusión de datos, este modelo consta de una actividad formada por tres estados cíclicos que se desarrollan en el siguiente orden.

- Recolección de datos y procesamiento de la señal: la información se recolecta y pre-procesa.
- Extracción de patrones: con la información pre-procesada, se extraen los patrones para crear los contextos necesarios.
- Decisión: los contextos son procesados y se establecen las acciones a seguir.

a) Recolección de Datos

La etapa de detección y procesamiento de la señal es la primera fase del modelo. En esta etapa, se recolecta la información necesaria y se pre-procesa para su posterior análisis. Es importante que la información sea recolectada de manera precisa y confiable para garantizar resultados precisos en las siguientes etapas del modelo[26].

b) Extracción de patrones

La etapa de extracción de patrones consiste en tomar la información pre-procesada y extraer los patrones necesarios para crear los contextos requeridos. Estos patrones se fusionan para generar los contextos necesarios para la toma de decisiones en el modelo de fusión de datos[27].

c) **Decisión**

En esta etapa, los contextos generados a partir de la fusión de datos son procesados y se establecen las acciones a seguir. Es en esta etapa es donde se toman las decisiones finales basadas en los resultados obtenidos en las fases anteriores del modelo[11].

1.3.2. Tipo de investigación.

Investigación bibliográfica. – Se plantea inicialmente para el proyecto de investigación la recolección de información de un modo sistemático y ordenado mediante fuentes bibliográficas, artículos científicos, páginas web, tesis, documentos y libros de ingeniería de los cuales se obtendrá la información necesaria para la realización del análisis de fallas de aislamiento para aisladores eléctricos.

Investigación de campo. - Consiste en el proceso que permite obtener datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos o fenómenos, sin modificar o controlar las variables. Estudia los fenómenos directamente en su ambiente natural. La investigación es desarrollada en la línea de distribución a nivel de 13,8 kV en una muestra, sitio en donde se recopilará datos con la técnica de ultrasonido acústico.

Investigación Descriptiva. - El propósito del investigador es puntualizar las características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizar criterios sistemáticos que permitan establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, que permita que el sistema eléctrico de distribución trabaje adecuadamente sin generar pérdidas de energía por frecuencias de interrupciones por fallos de aislamiento.

1.3.3. Qué son las hipótesis.

Es la guía para la investigación e indica los resultados que deseamos probar como aceptables para el análisis de fallas en los aisladores de porcelana, por lo tanto, se desprende la siguiente hipótesis: “La técnica de ultrasonido acústico, permitirá detectar anomalías que se pueden presentar en los aisladores de porcelana de las líneas de distribución antes que se produzca una falla reduciendo costos de mantenimiento no

programados y mejorar la confiabilidad del servicio eléctrico”. Con los resultados obtenidos se espera que la implementación de un plan de mantenimiento correctivo programado, basado en los resultados obtenidos, mejore la calidad del servicio técnico y aumente la confiabilidad del suministro eléctrico.

1.4. Conclusiones Capítulo I.

- La información recopilada del Capítulo 1, la cual fue obtenida de fuentes confiables y verificadas, se obtuvo un amplio conocimiento respecto a las líneas de distribución en especial de los aisladores eléctricos y sus principales fallas.
- Las líneas de distribución al estar conformadas por elementos mecánicos como los aisladores eléctricos, con el tiempo de uso empiezan a sufrir deterioros por varios factores, sean estos ambientales, operacionales, etc. los cuales deben ser detectados y reparados, decreciendo de esta forma las frecuencias de interrupciones, no programadas.
- El uso del ultrasonido acústico para la detección de fallas en los aisladores de porcelana de una línea de distribución eléctrica, permite realizar inspecciones seguras con sensores de larga distancia, sin interrupciones en la producción de energía eléctrica y priorizar las tareas de mantenimiento necesarias para garantizar un suministro de energía eléctrica confiable, Existen tres técnicas adicionales que se utilizan para poder anticipar una falla inesperada, y aumentar los niveles de seguridad que son: visuales, termográficas, efecto corona

CAPITULO II. PROPUESTA

2.1. Título de la propuesta.

El desarrollo de la metodología para el análisis e interpretación de los resultados de las fallas de los aisladores de porcelana a nivel de 13,8 kV aplicando la técnica de ultrasonido acústico, se basa en 3 etapas fundamentales recolección de datos en situ, extracción de patrones mediante análisis computacional, decisión y análisis de los resultados finales basados en los resultados obtenidos en las fases anteriores del modelo que nos permita el diagnóstico y mantenimiento ante fallos potenciales en el sistema.

2.2. Objetivo de la propuesta.

Elaborar una metodología para el análisis de la aplicación de la técnica ultrasonido en los aisladores de porcelana en las líneas de distribución a nivel de 13,8 kV, que optimice las labores de mantenimiento predictivo, estableciendo prioridades de mantenimiento.

Dicha metodología, será un modelo de propuesta viable que le permita al personal que labora en las unidades de mantenimiento de las empresas eléctricas, contar con un instrumento sistemático para el análisis de fallas en los aisladores de porcelana a corto plazo, que se utilice para coordinar todas las funciones relacionadas con un mantenimiento predictivo en las líneas de distribución con la técnica antes señalada.

2.3. Descripción de la propuesta.

En los últimos años, el crecimiento de la demanda ha llevado a un aumento en el tamaño de los subsistemas del sistema eléctrico de potencia (SEP), con el objetivo de garantizar la continuidad del servicio, la calidad y el costo de la energía suministrada al usuario final. Sin embargo, los SEP son sistemas complejos que pueden verse afectados por perturbaciones atmosféricas o fallas en el aislamiento como son los aisladores de porcelana, lo que puede comprometer la calidad del servicio eléctrico.

Por lo tanto, es fundamental implementar medidas de prevención y mantenimiento para minimizar el impacto de estas perturbaciones y garantizar la continuidad del servicio eléctrico.

La predicción de anomalías se lo realiza aplicando la técnica de ultrasonido acústico. Al detectar anomalías en los activos de las líneas de distribución eléctrica, mediante la técnica de mantenimiento predictivo, las distribuidoras pueden planificar los trabajos correctivos necesarios para evitar interrupciones no programadas en el suministro eléctrico. Al planificar estos trabajos, se pueden reducir los tiempos de localización de fallas y operaciones, mantener el stock necesario de materiales, mano de obra y herramientas disponibles, entre otros factores que pueden influir en la duración de las interrupciones no programadas. De esta manera, se puede mejorar la confiabilidad del servicio eléctrico, reducir las pérdidas económicas y las sanciones de los entes reguladores asociadas con las interrupciones no programadas.

2.4. Fundamentación de la propuesta.

En el presente trabajo se desarrolla una metodología que consiste en realizar el mantenimiento predictivo aplicando las técnicas: visual, termografía infrarroja, efecto corona y ultrasonido acústico, que son dirigidas fundamentalmente a las líneas de subtransmisión, la misma que es aplicada en dos fases.

La primera fase determina los requisitos del personal, equipos y la ejecución del mantenimiento predictivo con el uso de técnicas: visual, termografía infrarroja, efecto corona y ultrasonido acústico. La metodología permite conocer los requisitos que debe reunir el personal para ejecutar las inspecciones, de igual manera establece las características mínimas de los equipos que se utilizan para las inspecciones, adicional se detalla un flujograma de los pasos que se deben seguir para realizar las inspecciones. La segunda fase evalúa la información obtenida de las inspecciones, en forma cualitativa y/o cuantitativa según la técnica aplicada, para determinar las anomalías en los elementos eléctricos y mecánicos de las líneas de subtransmisión.

Es importante la elaboración de éste proceso, por cuanto en el Ecuador no existe una metodología normada para la ejecución del mantenimiento predictivo en líneas de

subtransmisión, de igual manera el desarrollo de la misma ayuda al sector eléctrico a tener una guía técnica para realizar las inspecciones en las líneas existentes en las distribuidoras, obteniendo ventajas como; calidad del servicio, prevenir paradas no programadas y evitar pérdidas económicas por la interrupción el suministro de energía eléctrica a los consumidores por fallas en las líneas de subtransmisión.

2.5. Desarrollo de la metodología

A continuación, se desarrolla los procedimientos para la aplicación de la técnica de ultrasonido acústico y la evaluación de los resultados obtenidos.

2.5.1. FASE 1

2.5.1.1. Recolección de datos

En esta etapa, se recolecta la información necesaria y se pre-procesa para su posterior análisis. Es fundamental que la información sea recolectada de manera precisa y confiable para garantizar resultados precisos en las siguientes etapas del modelo.

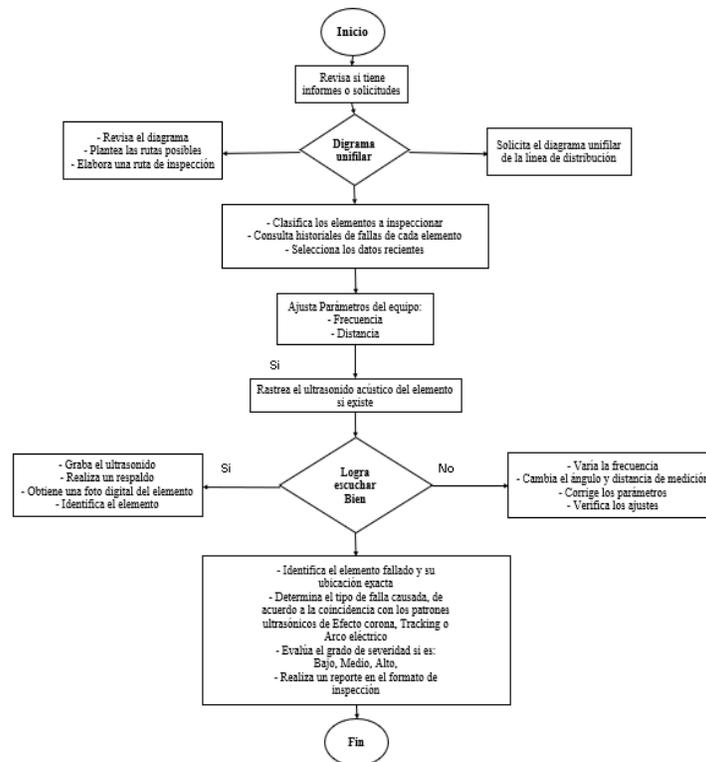


Figura 6. Flujograma de la recolección de datos en la ejecución de las inspecciones.

Se realizó un flujograma para representar los procesos de inspección con la técnica de ultrasónico acústico, para el análisis de los activos de las líneas de distribución eléctrica, como los aisladores. De esta manera, se puede tener una visión general de los pasos que se deben seguir para llevar a cabo estas tareas de manera eficiente y segura.

2.5.1.2. Especificaciones técnicas mínimas del equipo de ultrasónico acústico a ser utilizado en la inspección de los aisladores en líneas de distribución de 13.8 kV.

El equipo a utilizarse para la inspección de las líneas de distribución y que inciden directamente en los resultados es el, Equipo de Ultrasonido Acústico. Este equipo debe cumplir con características adecuadas para las inspecciones de líneas de distribución ya que afectan directamente en los resultados. Se debe tomar en cuenta que la mayor dificultad que se encuentra para la inspección es la distancia desde el equipo hasta los elementos a inspeccionar que normalmente oscilan desde 1,5 m hasta 18 m.

Especificaciones técnicas del equipo de ultrasonido acústico

Entre las especificaciones técnicas mínimas a considerar en un equipo de ultrasonido acústico para la inspección de las líneas de distribución son las detalladas en la tabla I siendo de relevancia la distancia de recepción, el umbral de sensibilidad Temperatura ambiente / Humedad relativa / Entorno que se deben disponer en este equipo.

Tabla 2. Especificaciones técnicas del equipo de ultrasonido acústico

Especificaciones Técnicas del Equipo Ultrasonido Acústico CTRL UL101		
Distancia de recepción	Hasta 150 pies (45 m)	Un rango de recepción alto permite detectar defectos ultrasónicos a distancias seguras o en zonas inaccesibles.
Umbral de sensibilidad	Intensidad mínima: 10-12 W / m ² (0 dB SPL)	Se requiere una intensidad baja. Una sensibilidad baja no permitirá detectar todas las fuentes de sonido, sin embargo, facilita la detección puntual y específica, eliminando el riesgo de confundir el origen del sonido con respecto a otras

	Presión ultrasónica mínima: 2,0 x 10 ⁻⁵ PA a 40 kHz	fuentes potenciales. Combinada con auriculares de alta impedancia permiten reproducir las señales acústicas sin distorsión.
Auriculares	Impedancia de grado industrial / 600 ohmios	Una alta impedancia de 600 ohmios elimina la transmisión de ruido desde el transductor hasta los auriculares y compensara la sensibilidad necesaria del transductor. Es decir, atenúa el ruido externo en el orden de 21-24 dB.
	Atenuación de ruido externo de 21-24 dB	
Temperatura ambiente / Humedad relativa / Entorno	54 ° a -20 ° C / 10% a 90% sin condensarse / IP 54	Los ambientes en exteriores pueden ser extremos, por lo que se sugiere estos rangos ya que existen en el mercado y permitirá el correcto funcionamiento.

Fuente: Autor

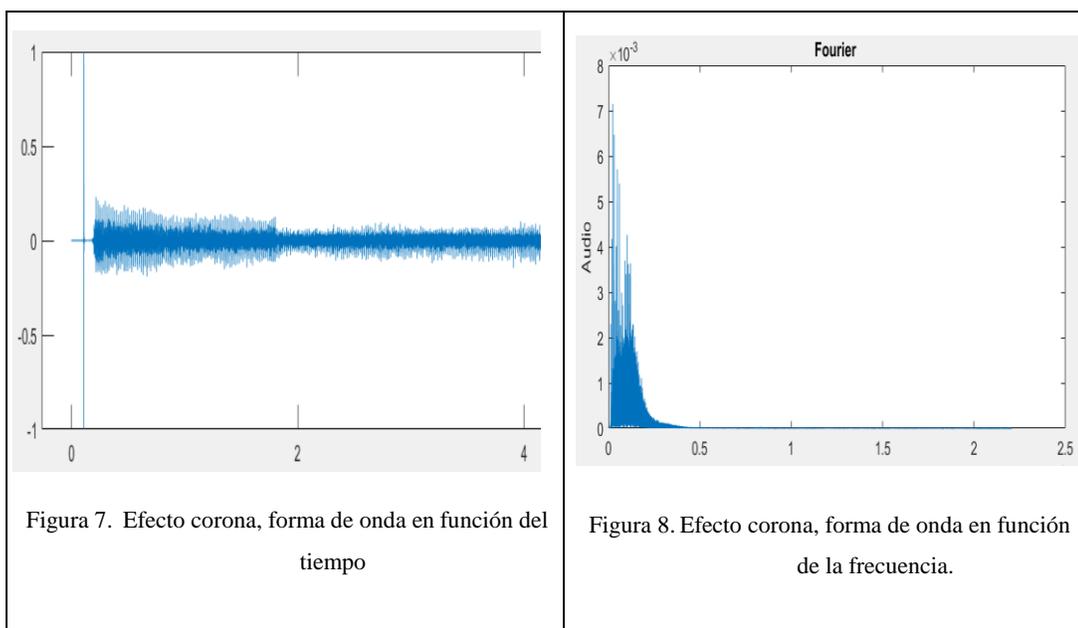
2.5.2. FASE 2

2.5.2.1. Extracción de patrones

Técnica ultrasonido acústico, análisis cualitativo.

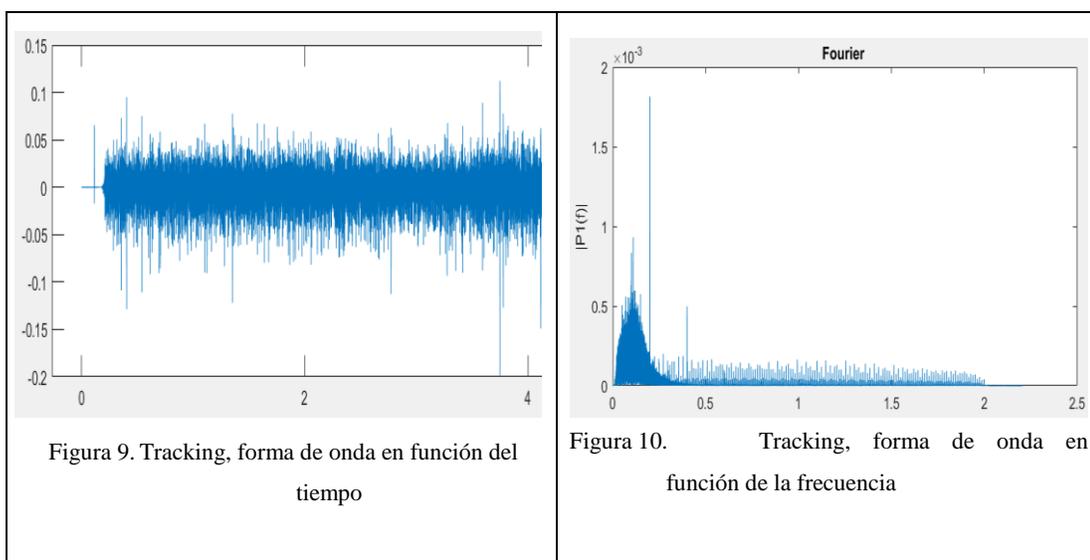
La extracción de patrones es una tarea crítica en el proceso de fusión de datos, ya que los patrones extraídos pueden influir en la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos en las etapas posteriores del modelo. Por lo tanto, es importante contar con técnicas y herramientas adecuadas para la extracción de patrones, con el objetivo de garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos en el modelo de fusión de datos.

En las figuras 7,8,9,10,11 y 12, se observa las formas de onda tanto en función del tiempo como en función de la frecuencia. Al observar la forma de onda en función del tiempo nos revela con mayor claridad la presencia de efecto corona, Tracking eléctrico y arco eléctrico, ya que tenemos variación en la amplitud.



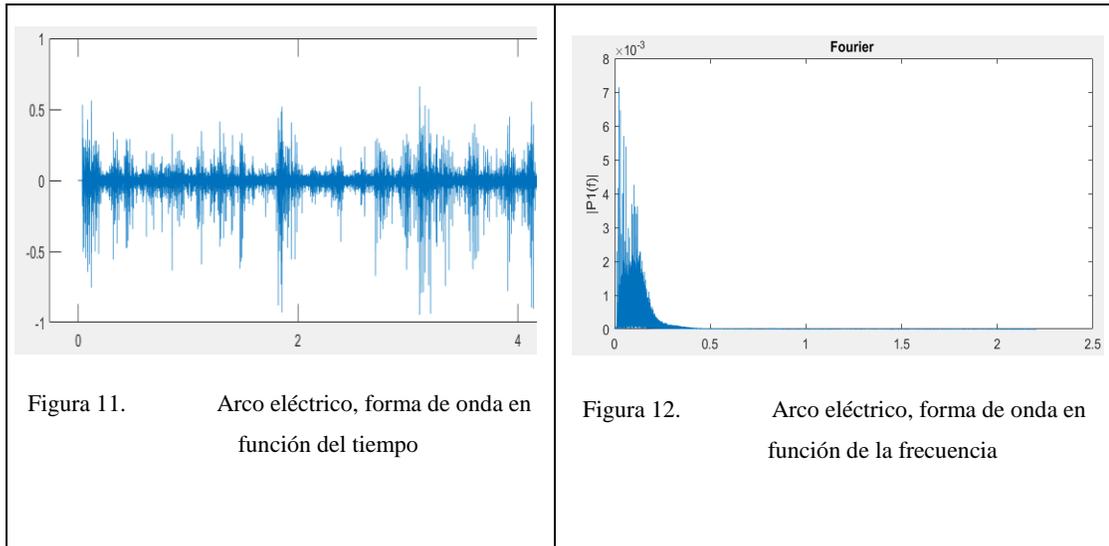
Fuente: Autor

En la figura 7, se muestra una forma de onda del sonido WAV (archivo de audio) en función del tiempo, y en la figura 8, se muestra el mismo sonido en una forma de onda en función de la frecuencia, con armónicos consecutivos a 60 Hz, lo cual nos revelan presencia de efecto corona a través del sonido.



Fuente: Autor

En la figura 9 y 10, tenemos las formas de onda en función del tiempo y de la frecuencia del sonido WAV. Se observa la forma de onda en función de la frecuencia, con armónicos a 60 Hz en forma irregular, lo cual nos revela la presencia de tracking.



Fuente: Autor

En la figura 11 y 12, se observa las formas de onda tanto en función del tiempo como en función de la frecuencia. Al observar la forma de onda en función del tiempo nos revela con mayor claridad la presencia de arco eléctrico, ya que tenemos variación en la amplitud y su duración es variable.

Es importante mencionar que las técnicas de ultrasonido acústico son de "detección" y, por lo tanto, no se evalúan en forma cuantitativa debido a la falta de parámetros valorados para su comparación. Una vez que se han detectado anomalías en los elementos eléctricos, como los aisladores de porcelana en las líneas de distribución, se propone clasificar la prioridad de mantenimiento de cada anomalía mediante un árbol de decisiones. Este enfoque permite una evaluación cualitativa de la técnica de ultrasonido acústico y una clasificación efectiva de la prioridad de mantenimiento de las anomalías detectadas.

2.5.2. FASE 3

2.5.2.1. Decisión

La etapa de decisión es crucial en el modelo de fusión de datos, ya que es donde se toman las decisiones finales basadas en los resultados obtenidos en las fases anteriores del modelo.

Los resultados obtenidos por el ultrasonido acústico se realizarán de forma cuantitativa ya que no existe parámetros para su valoración, lo cual permite considerar la criticidad y urgencia de acciones a implementar. Identificación anticipada de posibles fallas, antes que se conviertan en una situación de mayor gravedad, dando la posibilidad de planear acciones y trabajos de mantenimiento oportunos.

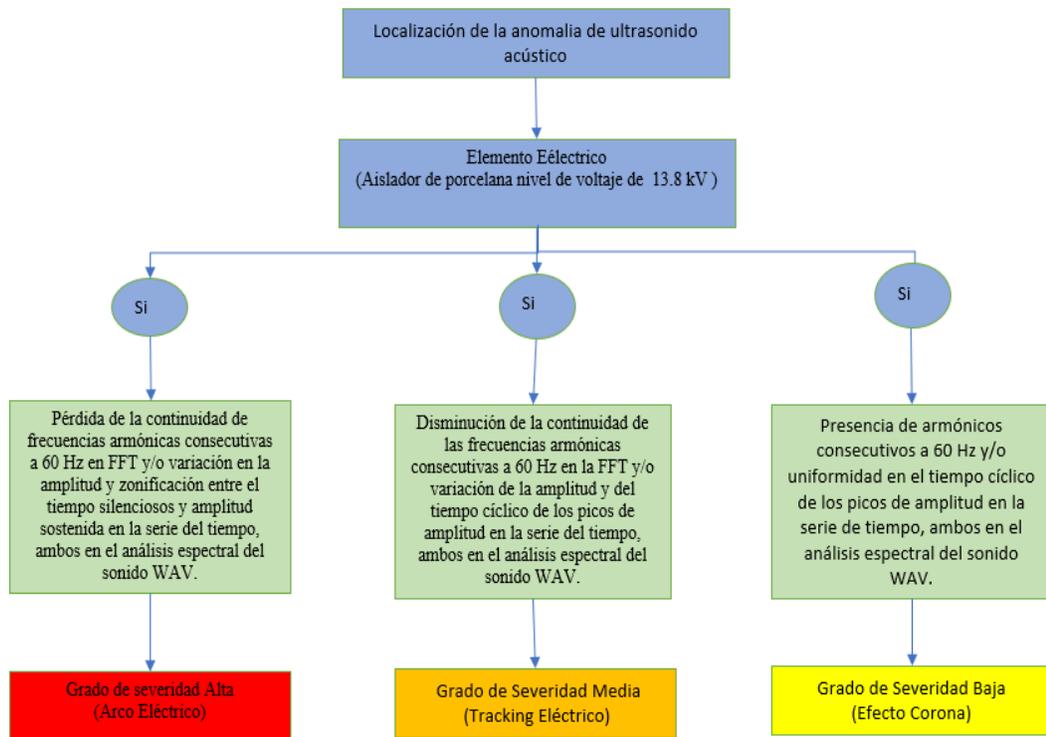


Figura 13. Árbol de decisiones de la técnica de ultrasonido acústico

En el análisis con la técnica de ultrasonido acústico, se utilizó un árbol de decisiones para clasificar la prioridad de mantenimiento de las anomalías detectadas en los

elementos eléctricos, como los aisladores de porcelana en las líneas de distribución. Esto permite a los técnicos de mantenimiento tomar decisiones informadas sobre qué anomalías deben ser abordadas primero y cuáles pueden esperar.

2.6. Conclusiones capítulo II

- Los equipos utilizados en las inspecciones deben ser los adecuados técnicamente para garantizar una buena ejecución de las inspecciones y obtener resultados de calidad. En particular, el equipo de ultrasonido acústico es un equipo clave en la inspección de los aisladores eléctricos y debe cumplir con características adecuadas para las inspecciones de líneas de distribución a nivel de 13.8 kV.
- El equipo de ultrasonido acústico utilizado en la detección de fallas eléctricas no requiere calibración, sino una verificación para asegurarse de su correcto funcionamiento.
- procedimientos de inspección para la técnica de ultrasonido acústico deben ser claros y adecuados, y siempre estar sujetos a cambios y mejoras para garantizar la calidad de los resultados obtenidos.
- Se debe tener claro que técnica se basa en la detección y análisis de las ondas sonoras de alta frecuencia emitidas por los objetos que sufren algún tipo de perturbación, y que se puede complementar con otras técnicas, como la técnica visual, para detectar las anomalías.

CAPÍTULO III. APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

3.1. Análisis de los resultados:

Durante las inspecciones in situ con la técnica ultrasonido acústico y una vez obtenido los resultados, aplicamos la técnica visual que no ayudará en los resultados obtenidos a detectar los elementos que presentaron anomalías.

A continuación, presentamos el resultado de los análisis obtenidos in situ. Se realiza la inspección de 99 puntos consecutivos, aplicando el ultrasonido acústico, en la zona costera del Ecuador, provincia de Esmeraldas.

Tabla 3. Anomalías en cada punto de inspección

RESUME GENERAL DE ULTRASONIDO ACÚSTICO			
S/E SAN LORENZO – ALIMENTADOR CENTRAL GENERACIÓN			
Punto de Inspección	Coordenadas UTM	Tipo de Estructura	Grado de Severidad
1	17 N 628810 96179	EST-3VRT	Efecto corona
2	17 N 628786 96167	EST-3VP	Arco Eléctrico
3	17 N 628734 96139	EST-3VR	Efecto corona
4	17 N 628736 96175	EST-3VP	Arco Eléctrico
5	17 N 628694 96285	EST-3CP	Tracking Eléctrico
6	17 N 628617 96274	EST-3VP	Efecto corona
7	17 N 628617 96274	EST-1CP	Tracking Eléctrico
8	17 N 628579 96262	EST-3VD	Tracking Eléctrico
9	17 N 628542 96246	EST-3VD	Efecto corona
10	17 N 628433 96205	EST-3VP	Arco Eléctrico
11	17 N 628416 96199	EST-3CD	Ninguna
12	17 N 628380 96194	EST-3CR+3VR	Efecto corona
13	17 N 628330 96231	EST-3VP	Tracking Eléctrico
14	17 N 628194 96317	EST-3VD	Efecto corona
15	17 N 628157 96352	EST-3CD	Arco Eléctrico
16	17 N 628035 96447	EST-3HD+3CR+3CR	Ninguna
17	17 N 628095 96516	EST-3VD	Efecto corona
18	17 N 628123 96532	EST-3VD	Tracking Eléctrico
19	17 N 628150 96552	EST-3VP	Efecto corona
20	17 N 628143 96539	EST-3CR	Efecto corona

21	17 N 628184 96579	EST-3VP	Ninguna
22	17 N 628239 96615	EST-3VD	Arco Eléctrico
23	17 N 628268 96626	EST-3VD	Efecto corona
24	17 N 628293 96637	EST-3VP	Arco Eléctrico
25	17 N 628326 96653	EST-3CD	Efecto corona
26	17 N 628361 96669	EST-3VP	Tracking Eléctrico
27	17 N 628387 96672	EST-3VP	Tracking Eléctrico
28	17 N 628430 96686	EST-3CP	Efecto corona
29	17 N 628462 96689	EST-3CA	Arco Eléctrico
30	17 N 628500 96702	EST-3CA	Efecto corona
31	17 N 628529 96726	EST-3CA	Tracking Eléctrico
32	17 N 628556 96751	EST-3CD+3CR	Efecto corona
33	17 N 628579 96777	EST-3VA	Efecto corona
34	17 N 628590 96810	EST-3CR	Ninguna
35	17 N 628288 96730	EST-3VP	Ninguna
36	17 N 628276 96761	EST-3VD	Ninguna
37	17 N 628512 96915	EST-3CR	Ninguna
38	17 N 628446 96872	EST-3VP	Ninguna
39	17 N 628380 96836	EST-3VP	Ninguna
40	17 N 628316 96799	EST-3VD	Efecto corona
41	17 N 628288 96782	EST-3VP	Efecto corona
42	17 N 628260 96767	EST-3VP	Efecto corona
43	17 N 628230 96744	EST-3VP	Tracking Eléctrico
44	17 N 628177 96708	EST-3VR+3CR	Efecto corona
45	17 N 628175 96716	EST-3CR+3CR	Arco Eléctrico
46	17 N 628144 96697	EST-3VP	Tracking Eléctrico
47	17 N 628111 96677	EST-3CR0	Efecto corona
48	17 N 628096 96664	EST-3VR+3VP	Efecto corona
49	17 N 628117 96634	EST-3VP	Tracking Eléctrico
50	17 N 628141 96601	EST-3HR+3VP	Efecto corona
51	17 N 627983 96586	EST-3VP	Tracking Eléctrico
52	17 N 627885 96509	EST-3CD+3VR	Arco Eléctrico
53	17 N 627838 96485	EST-3VP	Arco Eléctrico
54	17 N 627818 96473	EST-3VP	Ninguna
55	17 N 627786 96447	EST-3CD	Arco Eléctrico
56	17 N 627752 96432	EST-3VP	Ninguna
57	17 N 627732 96417	EST-3HP	Efecto corona
58	17 N 627692 96392	EST-3VP	Arco Eléctrico
59	17 N 627663 96367	EST-1CP+2CR	Efecto corona
60	17 N 627659 96370	EST-3VP	Efecto corona
61	17 N 627646 96352	EST-3CD	Arco Eléctrico

62	17 N 627618 96343	EST-3VP	Tracking Eléctrico
63	17 N 627577 96313	EST-3VP	Efecto corona
64	17 N 627532 96283	EST-3VP	Efecto corona
65	17 N 627499 96262	EST-3CD	Arco Eléctrico
66	17 N 627476 96244	EST-3CR+3CR+1CR	Tracking Eléctrico
67	17 N 627485 96237	EST-3VP	Efecto corona
68	17 N 627499 96209	EST-3VP	Efecto corona
69	17 N 627527 96189	EST-3VP	Tracking Eléctrico
70	17 N 627550 96178	EST-3VP	Tracking Eléctrico
71	17 N 627570 96155	EST-3VD	Efecto corona
72	17 N 627577 96125	EST-3CD	Efecto corona
73	17 N 627592 96089	EST-3CP+1CR	Arco Eléctrico
74	17 N 627602 96059	EST-3CP	Efecto corona
75	17 N 627706 96220	EST-3CR+1CR+1CR	Tracking Eléctrico
76	17 N 627675 96201	EST-3VP	Tracking Eléctrico
77	17 N 627642 96184	EST-3CP	Tracking Eléctrico
78	17 N 627609 96163	EST-3CP	Efecto corona
79	17 N 627580 96152	EST-3CP	Efecto corona
80	17 N 627543 96133	EST-3VD	Arco Eléctrico
81	17 N 627499 96114	EST-3CP	Tracking Eléctrico
82	17 N 627467 96100	EST-3CP+1CR	Efecto corona
83	17 N 627452 96088	EST-3C+3CR	Efecto corona
84	17 N 627439 96080	EST-3CP	Tracking Eléctrico
85	17 N 627412 96069	EST-3CP	Efecto corona
86	17 N 627383 96053	EST-3HD+3CP+1CR	Arco Eléctrico
87	17 N 627352 96031	3CP	Ninguna
88	17 N 627319 96004	EST-3CR	Ninguna
89	17 N 627284 95975	EST-3VD	Ninguna
90	17 N 627224 95945	EST-3VP	Arco Eléctrico
91	17 N 627189 95926	EST-3VP+3CR	Efecto corona
92	17 N 627152 95906	EST-3CP	Efecto corona
93	17 N 627069 95864	EST-3CP+3CR	Tracking Eléctrico
94	17 N 626998 95827	EST-3CP	Efecto corona
95	17 N 626932 95910	EST-3HR	Efecto corona
96	17 N 626978 95938	EST-3C+3CR	Efecto corona
97	17 N 626997 95902	EST-3C+3CR	Arco Eléctrico
98	17 N 627174 95933	EST-3VP	Tracking Eléctrico
99	17 N 627178 95964	EST-3CP	Efecto corona

Fuente: Autor

A continuación, en la figura 11 se muestra un gráfico de barras en el cual se expone el total de puntos inspeccionados dividido en puntos con y sin anomalías. Adicional se puede observar, para este caso que tenemos 85 puntos con anomalía, lo cual significa que tenemos 85 posibles fallas latentes y 14 puntos en condiciones normales.

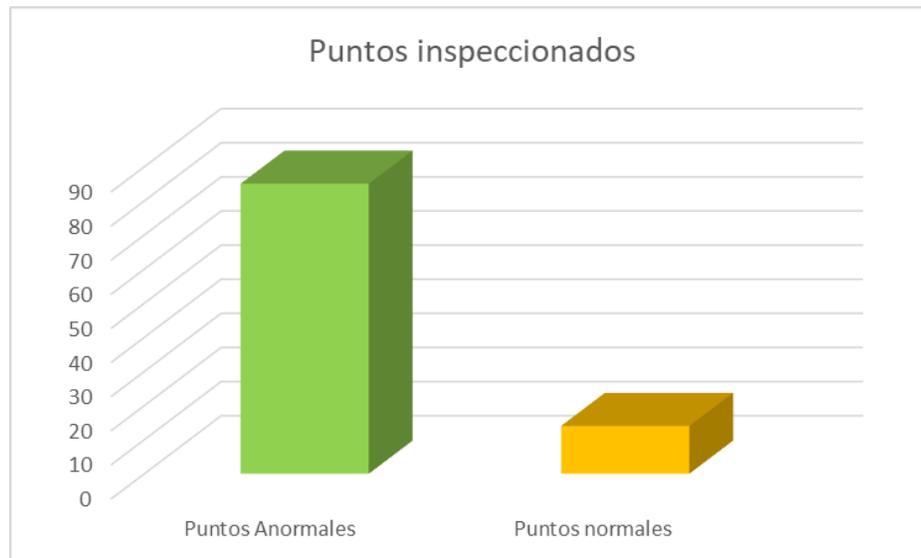


Figura 14. Puntos inspeccionados

En la figura 11, tenemos un diagrama de barras en donde se detalla las anomalías según sus prioridades de mantenimiento, esto ayuda para que la persona encargada del mantenimiento correctivo pueda programar los trabajos según la criticidad, y con esto prever interrupciones de energía eléctrica no programada.

Se observa claramente que dentro de los 92 puntos con anomalías tenemos: 8 puntos para reparación inmediata, 24 puntos que se puede planificar el mantenimiento a corto plazo, 53 puntos que pueden ser monitoreados en función del tiempo para tomar una decisión de mantenimiento correctivo de ser necesario.

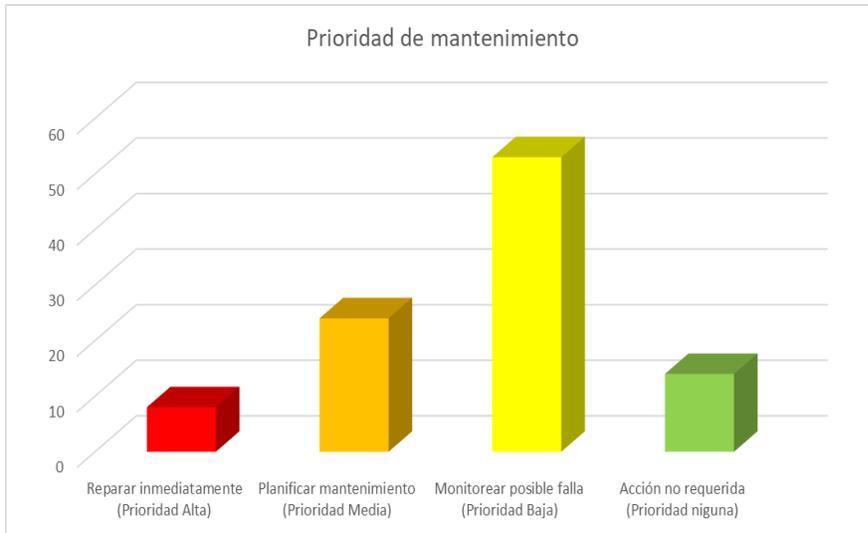


Figura 15. Prioridad de mantenimiento

En la tabla 2 se presenta los datos para realizar el diagrama de Pareto, mientras que en la figura 12, se analiza el diagrama de Pareto y tenemos que las anomalías registradas con las prioridad de mantenimiento "Reparación inmediata" y "Planificar mantenimiento" presentan el 40% de probabilidad de desconexión de la línea de distribución, por lo que corrigiendo las prioridades de mantenimiento Alta y medio, se disminuye la prioridad de falla hasta 14% las cuales con un monitoreo permanente pueden ser controladas hasta que se decida aplicar un mantenimiento correctivo.

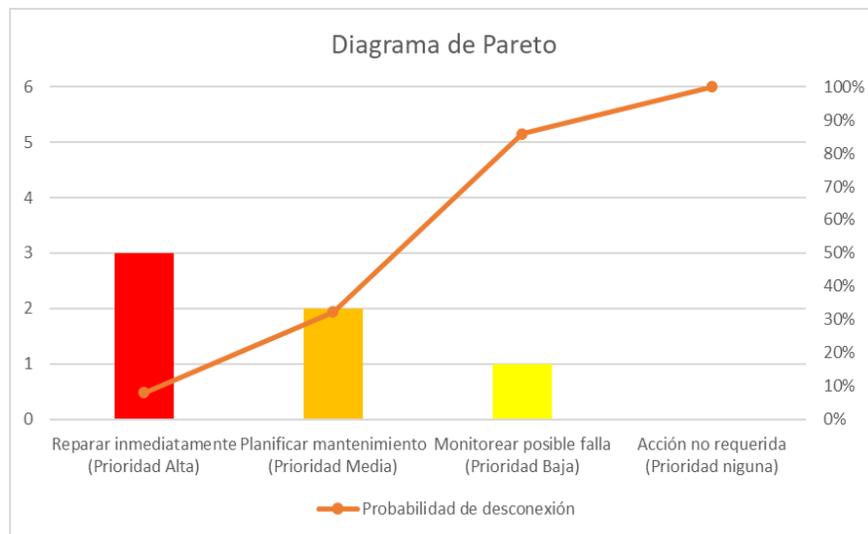


Figura 16. Probabilidad de desconexión

Resultados luego de analizar la información obtenida In-situ

Se detalla una muestra del resultado del análisis de tres puntos inspeccionados, punto de inspección 1, 5 y 61, que hemos considerados. Cabe mencionar que no se presenta los resultados de toda la inspección ya que la información es muy extensa, pero en la tabla 3 se observa el resumen final de todos los puntos inspeccionados.



Figura 17. Ultrasonido acústico (Efecto corona)

La figura 17 ilustra la presencia de la anomalía conocida como efecto corona, la cual se caracteriza por la emisión de ruidos de pequeña intensidad que, en muchos casos, apenas son perceptibles. Esta anomalía puede ser causada por diversos factores, como la contaminación, la degradación, la mala instalación o la humedad anormal.

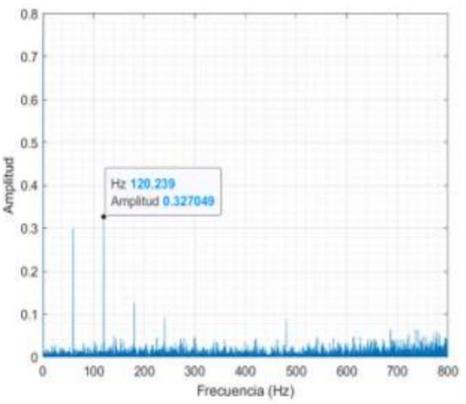
PUNTO DE INSPECCIÓN N° 5		
Fecha de la inspección: 11/12/2022	Hora de inspección: 11:25	
Instalación	Coordenadas UTM	Grado de Severidad
S/E San Lorenzo: Central Generación	17 N 628694 96285	Medio
Recomendaciones: Se recomienda mantenimiento programado		
Ultrasonido Acústico	Grado de severidad	
		
Se observa la forma de onda en función de la frecuencia, con armónicos a 60 Hz en forma irregular, lo cual nos revela la presencia de tracking eléctrico.		

Figura 18. Ultrasonido acústico (Tracking eléctrico)

La figura 18 ilustra la presencia de la anomalía conocida como tracking eléctrico, la cual se caracteriza por el inicio del proceso de carga de potencial que puede vencer la rigidez dieléctrica del material aislante y provocar una descarga eléctrica. Esta anomalía puede ser causada por diversos factores, como la contaminación, la humedad, la presencia de polvo o sales minerales, y puede provocar daños irreversibles en los activos eléctricos.

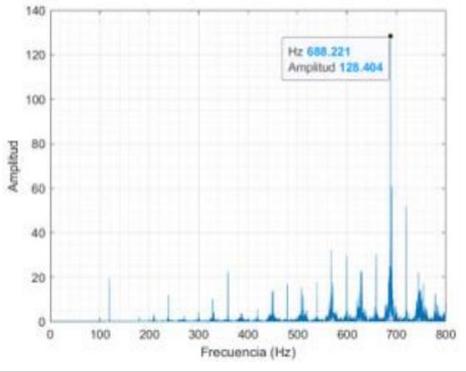
PUNTO DE INSPECCIÓN N° 61		
Fecha de la inspección: 19/12/2022	Hora de inspección: 14:00	
Instalación	Coordenadas UTM	Grado de Severidad
S/E San Lorenzo: Central Generación	17 N 627646 96352	Alto
Recomendaciones: Se recomienda mantenimiento correctivo inmediato		
Ultrasonido acústico	Grado de severidad	
		
El espectro FFT muestra con mayor claridad presencia de arco eléctrico, ya que tenemos variación en la amplitud y su duración es variable		

Figura 19. Ultrasonido acústico (Arco eléctrico)

En la figura 19 ilustra la anomalía conocida como arco eléctrico, es una descarga de arco es en esencia un corto circuito y el mecanismo de ionización del aire es similar al del Efecto Corona

3.2. Validación técnica – económica de los resultados:

El análisis de la técnica con ultrasonido acústico presenta una inversión inicial en tecnología y capacitación del personal técnico calificado, la rentabilidad de dicha inversión a mediano y largo plazo es mayor que los otros tipos de técnicas de mantenimiento, siendo una de las ventajas del mantenimiento predictivo actualmente, la reducción del tiempo y costos de operación.

La rentabilidad económica de la técnica de mantenimiento está fuera de toda incertidumbre, como puede demostrarse con valores reales de empresas de distintos sectores donde se ha implantado haciendo un análisis comparativo de los costos reales

asociados a varios tipos de mantenimientos. Por la implantación de la técnica de ultrasonido acústico, se obtienen rentabilidades positivas al invertir en tecnologías de este tipo de mantenimiento.

Por lo tanto, se presenta un análisis de costos fijos y variables para determinar el costo del mantenimiento predictivo aplicando la técnica de ultrasónico acústico, además se encuentra el costo que representa las interrupciones no programadas por fallas en las líneas de distribución y que finalmente se realiza el análisis comparativo de costo beneficio en relación al valor del mantenimiento predictivo con la técnica antes mencionada y al valor que resulta las interrupciones por las fallas presentadas en la línea.

En la Tabla 4 se detalla la mano de obra que se necesita para realizar el trabajo considerando personal de oficina y personal de campo en donde se caracteriza un factor para cada puesto y su sueldo respectivo obteniendo el primer costo fijo.

Tabla 4. Costo de mano de obra

ANÁLISIS DE FALLA IN SITU CON LA TÉCNICA DE ULTRASONIDO ACÚSTICO						
COSTO DE MANO DE OBRA (MO)						
Descripción	Número de Personas	sueldo Mes	Días Fuera	Costo día fuera	Costo Fijo USD mes	Costo Variable USD mes
OFICINA	Factor	0.20				
Gerencia General	0,20	\$ 1.300,00	0	0	\$ 260,00	-
Gerencia Técnica	0,20	\$ 1.250,00	0	0	\$ 250,00	-
Gerencia de Talento Humano	0,20	\$ 1.200,00	0	0	\$ 240,00	-
Contador	0,20	\$ 700,00	0	0	\$ 140,00	-
Auxiliar Contable	0,20	\$ 200,00	0	0	\$ 40,00	-
Asistente de Gerencia Técnica	0,20	\$ 800,00	0	0	\$ 160,00	-
Sistemas	0,20	\$ 800,00	0	0	\$ 160,00	-
Logística	0,20	\$ 800,00	0	0	\$ 160,00	-
Bodeguero	0,20	\$ 500,00	0	0	\$ 100,00	-
Ingeniero senior SSO	0,20	\$ 1.000,00	0	0	\$ 200,00	-
CAMPO						
Ingeniero inspector	1,00	\$ 800,00	21	13	\$ 1.073,00	-
Ayudante inspector	1,00	\$ 600,00	21	13	\$ 873,00	-
Ingeniero analista	1,00	\$ 1.100,00	0	0	\$ 1.100,00	-
Ayudante analista	2,00	\$ 400,00	0	0	\$ 800,00	-
Conductor camioneta inspección	1,00	\$ 600,00	21	13	\$ 873,00	-
Costo Total			0		\$ 6.429,00	-
Aporte Patronal 11.15%			0		\$ 716.83,00	-
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA			0		\$ 7145.83,00	-

Fuente: Autor

En la Tabla 5 se describe el segundo costo fijo asociado a la movilización del personal en este caso se emplea una camioneta para el traslado de personal de equipos y herramientas para realizar los trabajos de mantenimiento.

Tabla 5. Costo de transporte y varios

TRANSPORTE(TP), VARIOS					
Descripción	Cantidad	Días trabajados	Tarifa USD	Costos Fijos USD mes	Costos Variables USD mes
Camioneta	1	21	\$ 50,00	\$ 1.050,00	-
Arriendo	1	21	\$ 500,00	\$ 500,00	-
Pagos de servicios básicos	1	21	\$ 225,00	\$ 225,00	-
Menaje	3	21	\$ 50,00	\$ 150,00	-
Alimentación	3	21	\$ 10,00	\$ 630,00	-
COSTOS				\$ 2.555,00	-
Imprevistos 2%				\$ 51,10	-
COSTO TOTAL DE TRANSPORTE Y VARIOS				\$ 2.606,10	-

Fuente: Autor

Dentro de la Tabla 6 se encuentran los equipos con los que se realiza las inspecciones y se determina el costo variable considerando los días laborables del mes y por su puesto la tarifa de alquiler del equipo para encontrar el costo variable.

Tabla 6. Costo de equipos

EQUIPOS (EQ)					
Descripción	Cantidad	Días trabajados	Tarifa USD Alquiler	Costo Fijos USD mes	Variables USD mes
Equipo de Ultrasonido	1	21	\$ 6,25	-	\$ 131.25,00
Dron Mavic Zoom	1	21	\$ 2,43	-	\$ 51,03
GPS	1	21	\$ 0,69	-	\$ 14,49
IPad	1	21	\$ 0,49	-	\$ 10,29
Costo total					\$ 207.06,00

Fuente: Autor

En la Tabla 7 se suma los costos fijos más los costos variables para encontrar el costo total por día que resulta realizar las inspecciones aplicando la técnica utilizada en el trabajo de inspecciones.

Tabla 7. Costo total

DESCRIPCIÓN	Costos variables	Costos fijos
Total, costos fijos en USD/MES MO+TP+EQ	\$ 207,06	\$ 9.751,93
Total, costos fijos en USD/DÍA MO+TP+EQ	\$ 9,86	\$ 464,38
TOTAL, DE COSTOS USD/DÍA(MO+TP+EQ)		\$ 474,24

Fuente: Autor

Con el costo total de las inspecciones por día, se calcula el valor total que resulta de realizar la el análisis e inspección de la línea de distribución del alimentador CENTRAL GENERACIÓN de la provincia de Esmeraldas, conformado de 99 puntos lo que se muestra en la Tabla 8 el cálculo correspondiente.

Tabla 8. Costo total de la inspección

COSTO TOTAL DEL ANÁLISIS E INSPECCIÓN DEL ALIMENTADOR CENTRAL GENERACIÓN	
Total, costo USD/día	\$ 472,24
N.- Puntos de inspección	92
N.- Puntos de inspección - Rendimiento/día	12
N.- Días trabajados	8
COSTO TOTAL	\$ 3.777,92

Fuente: Autor

En la Tabla 9 se calcula el costo de la energía no facturada considerando las 8 prioridades “altas” de mantenimiento registradas durante la inspección, y a cada prioridad de mantenimiento se le asigna una hora de desconexión por lo que las horas totales de desconexión son de 16 horas. Cabe mencionar que estas horas pueden ser superiores ya que no se toma en cuenta en este cálculo las prioridades medias de mantenimiento.

Tabla 9. Costo de la energía no facturada

COSTO DE ENERGÍA NO FACTURADA POR INTERRUPCIÓN	
Energía suministrada	4.650,00 kW
horas fallas (N.- Anomalías)	16 h
Energía no suministrada	74.400,00 kWh
valor - kilowatio	0,096 \$/kWh
Costo de energía no facturada	\$ 7.142,40

Fuente: Autor

Se hace una comparación estimada en la Tabla 10 que finalmente demuestra que el costo del análisis e inspección es mucho menor que el valor del costo por energía no facturada causada por las 16 horas de desconexión, obteniendo un beneficio financiero de \$ 3.364,48 dólares, pero lo más importante para este caso es mejorar la calidad de servicio, ya que las interrupciones no programadas presentan una pérdida económica directa a la economía de los usuarios, que no puede ser cuantificada, y sanciones para la distribuidora.

Tabla 10. Costo beneficio del análisis de falla

COSTO BENEFICIO DEL ANÁLISIS DE FALLA CON LA TECNICA DE ULTRASONIDO ACÚSTICO EN LOS AISLADORES DE PORCELANA A NIVEL 13.8 kV	
Costo análisis de falla	\$ 3.777,92
Costo energía no facturada	\$ 7.142,40
BENEFICIO FINANCIERO	\$ 3.364,48

Fuente: Autor

3.3. Evaluación de expertos.

Para este apartado se llevaron a cabo dos evaluaciones para determinar la viabilidad del tema y el éxito del desarrollo de la investigación. La primera evaluación se enfocó en la viabilidad técnica del tema y proporcionó un criterio para el desarrollo del trabajo de investigación. La segunda evaluación fue realizada por un experto en el tema, quien evaluó cómo se elaboró el tema, su aplicación y qué problemas resolvió la investigación.

Viabilidad del tema. - Como experto en el tema se contó con la aprobación de la ejecución de esta investigación por parte del Ing. Rodrigo Vinicio Quiñonez Bolla quien trabaja en el departamento de mantenimiento de redes de distribución Empresa Eléctrica CNEL- EP Esmeraldas y conoce en específico los índices de falla y calidad de servicio de la empresa distribuidora, en la entrevista escrita realizada al profesional se plantearon las siguientes 5 preguntas:

¿Conoce sobre algún plan de mantenimiento predictivo enfocado a las líneas de distribución a nivel de 13,8 kV en la empresa a la cual representa?

¿Qué técnica se pueden emplear para realizar un mantenimiento predictivo a las líneas distribución a nivel de 13,8 kV?

¿Qué resultados se puede obtener al realizar un mantenimiento predictivo a las líneas de distribución a nivel de 13,8 kV?

¿Considera viable aplicar un mantenimiento predictivo con técnicas: ultrasonido acústico para detectar anomalías y prever interrupciones de energía eléctrica, no programadas, ¿de las líneas de distribución a nivel de 13,8 kV en el Ecuador?

¿Qué parámetros se pueden mejorar en las líneas de distribución a nivel de 13,8 kV al aplicar un mantenimiento predictivo con técnica ultrasonido acústico para detectar anomalías y prever interrupciones de energía eléctrica, no programadas, ¿de las líneas de distribución a nivel de 13,8 kV en el Ecuador?

De la entrevista realizada se obtuvo información valiosa y basada en criterios profesionales y de gran experticia que fue una guía primordial para la ejecución de la presente investigación. En particular, se obtuvo una importante información para la investigación y permitió obtener una perspectiva experta sobre el tema, lo que contribuyó significativamente a la calidad y relevancia de los resultados obtenidos:

Dentro de las líneas de distribución es primordial la ejecución de un mantenimiento ya que todas las distribuidoras disponen de un plan y por supuesto en la institución existen planes de mantenimiento mensuales, mismos que disponen específicamente el área de mantenimiento de CNEL EP ESMERALDAS ya que dentro de sus funciones es mantener la línea en condiciones normales de funcionamiento por lo que disponen de personal calificado con experiencia y conocimientos para la ejecución de dicho trabajo y también todos los equipos, herramientas y materiales que se usan en dicha labor.

La implementación del mantenimiento predictivo con la técnica de ultrasonido acústico en las líneas de distribución eléctrica a nivel de 13.8 kV de CNEL EP ESMERALDAS, representa una oportunidad para mejorar la calidad del servicio eléctrico y optimizar los procesos de mantenimiento.

Es importante destacar que el mantenimiento predictivo es una técnica que puede ser utilizada para identificar posibles fallas en el sistema de distribución eléctrica a nivel de 13.8 kV, lo que permite tomar medidas preventivas antes de que se produzcan interrupciones en el suministro de energía eléctrica. En este sentido, la técnica de ultrasonido acústico se presenta como una herramienta eficaz para detectar anomalías en las líneas de distribución eléctrica y prever interrupciones no programadas en el suministro de energía eléctrica. En el contexto de Ecuador, actualmente no se aplica esta técnica, por lo que resultó viable realizar la investigación sobre su implementación en el mantenimiento predictivo de las líneas de distribución eléctrica. La aplicación de esta técnica permitiría mejorar la calidad del servicio eléctrico, reducir los costos asociados a las interrupciones no programadas y aumentar la eficiencia del área de mantenimiento de las empresas distribuidoras.



Firmado electrónicamente por:
RODRIGO VINICIO
QUINONEZ BOLLA

Atentamente
Ing. Rodrigo Quiñonez
Profesional de Mantenimiento CNEL-Esmeraldas

Aval del desarrollo. - La investigación sobre el análisis de fallas de los aisladores de porcelana a nivel de 13,8 kV aplicado con la técnica de ultrasonido acústico es una contribución importante para las empresas distribuidoras y las empresas privadas que ofrecen servicios de mantenimiento. Esta investigación representa un ejemplo de proceso de mantenimiento predictivo, en el cual se pueden utilizar de manera conjunta las tres técnicas de mantenimiento con inspección visual, efecto corona y termografía para obtener un resultado más especializado y concreto en la determinación de posibles fallas en las líneas de distribución eléctrica. La combinación de estas técnicas permite identificar de manera más precisa las anomalías en las líneas de distribución eléctrica y tomar medidas preventivas antes de que se produzcan interrupciones en el suministro de energía eléctrica.

La investigación esté enmarcada en normas técnicas específicas, sí se destaca que su campo de aplicación es a nivel nacional y que las líneas de distribución están localizadas en todo el territorio ecuatoriano. Esto sugiere que la investigación se ha desarrollado con criterios profesionales y que se ha llevado a cabo con rigurosidad y seriedad. Además, se menciona que la investigación puede ser de utilidad para profesionales y empresas que deseen mejorar sus prácticas de mantenimiento predictivo en el ámbito nacional, lo que refleja la relevancia y el impacto potencial de los resultados obtenidos.

Además, se refleja que su aplicación puede contribuir a minimizar los índices de calidad del servicio eléctrico, evitar sanciones administrativas y penalizaciones

económicas a las empresas distribuidoras, disminuir los reclamos de atención al cliente y evitar pérdidas económicas por no suministrar energía eléctrica.

En este sentido, se destaca la importancia de la investigación para el mejoramiento de la calidad del servicio eléctrico en el país, lo cual es un aspecto fundamental para el desarrollo social y económico de la nación. Por ello, se felicita a los maestrantes y a la institución por su compromiso con este tema y por su contribución al sector eléctrico y al desarrollo social.



Atentamente
MSc. Edwin Cruz
Gerente Técnico de INSECRUZ CIA. LTDA.

3.5. Evaluación de impactos o resultados.

La investigación sobre la aplicación de la técnica de ultrasonido acústico en las líneas de distribución eléctrica en Ecuador ha demostrado tener un impacto significativo en la mejora de la confiabilidad de la red, la disminución de las frecuencias de fallas y el tiempo de interrupciones no programadas, así como en la optimización de la gestión del personal técnico de mantenimiento de las empresas distribuidoras de energía eléctrica. Al conocer la existencia de estos métodos y herramientas para reducir y, en la medida de lo posible, eliminar las interrupciones no programadas, los usuarios pueden proponer a las empresas eléctricas la implementación de estos procedimientos de trabajo. Esto no solo aumentaría el conocimiento de la población sobre la parte eléctrica, sino que también mejoraría la calidad del servicio eléctrico y reduciría los costos operativos de las empresas distribuidoras, lo que a su vez puede tener un impacto positivo en la economía y la sociedad en general.

La investigación detalla de manera exhaustiva los procedimientos necesarios para la ejecución de la técnica de ultrasonido acústico en las líneas de distribución eléctrica, lo que permite que cualquier institución y su personal operativo puedan replicarlos con facilidad. Además, se proporciona información detallada sobre el manejo y la depuración de los datos obtenidos, lo que garantiza la obtención de resultados precisos y confiables en el mantenimiento predictivo con dicha técnica. De esta manera, se asegura que las empresas distribuidoras de energía eléctrica puedan mejorar la calidad del servicio eléctrico y reducir los costos operativos de manera efectiva y eficiente.

3.6. Conclusiones del capítulo III.

- Se inspeccionaron 99 puntos en la línea de distribución del alimentador Central Generación y se encontraron 84 puntos con anomalías utilizando la técnica de ultrasonido acústico. A partir de esto, se concluye que la técnica es complementaria y no reemplaza a las otras técnicas de mantenimiento predictivo. Es importante utilizar una combinación de técnicas de mantenimiento para obtener una evaluación completa y precisa del estado de los elementos de la línea de distribución.
- Durante la inspección in situ en la línea de distribución del alimentador Central Generación, se detectaron 85 anomalías utilizando la técnica de ultrasonido acústico. De estas anomalías, se identificaron 8 puntos que requieren reparación inmediata, 24 puntos que se pueden planificar para el mantenimiento a corto plazo y 53 puntos que pueden ser monitoreados en función del tiempo para tomar una decisión de mantenimiento correctivo de ser necesario.
- Después de detectar las anomalías en la línea de distribución, es fundamental determinar la prioridad de mantenimiento para planificar las correcciones necesarias. Esto permitirá optimizar los recursos económicos, técnicos, humanos y logísticos, lo que se traducirá en una disminución de los costos operativos y una mejora en el índice de calidad de servicio.
- En la evaluación de la tesis, tres profesionales a fin revisaron el fundamento de la tesis y dieron su aval del temario, indicando que la información presentada

será útil para los usuarios y estudiantes para gestionar y adentrarse en el conocimiento de la calidad del servicio eléctrico.

CONCLUSIONES GENERALES.

Luego de las inspecciones realizadas in situ mediante las técnicas de mantenimiento predictivo propuesta como es ultrasonido acústico, podemos observar:

- Mediante la investigación realizada no permite conocer el estado de los elementos eléctricos como son los aisladores de porcelana que conforman la infraestructura de las líneas de distribución a nivel de 13.8 kV. Al conocer el estado de estos elementos y de existir anomalías, nos permite planificar un mantenimiento correctivo programado, lo cual ayuda a disminuir costos operativos como mano de obra, disminuir o anular desconexiones por reparación ya que se puede planificar trabajos con tensión, mantener un stock de repuestos necesarios para el mantenimiento, disponer las herramientas adecuadas, mejorar la vida útil de los elementos, confiabilidad en las operaciones y en suministro de energía eléctrica.
- La técnica de ultrasonido acústico es capaz de detectar tres tipos de anomalías en las redes de distribución de media y alta tensión: efecto corona, tracking eléctrico y arco eléctrico. Cuando se detecta una anomalía, se graba en una forma de onda en función del tiempo. Luego, se utiliza la Transformada de Fourier para convertir esta forma de onda en función de la frecuencia, lo que permite obtener una estampa propia de cada elemento analizado. Esta estampa es de fácil interpretación y permite determinar el tipo de anomalía presente en el elemento analizado.
- Se evalúa el árbol de decisiones planteados, durante el caso práctico y se determina que tienen un procedimiento lógico, aceptables y fiable para determinar las prioridades de mantenimiento.
- El árbol de decisiones de la técnica de ultrasonido acústico es capaz de detectar los fenómenos de arco eléctrico, tracking y efecto corona en los elementos

eléctricos como los aisladores de porcelana. Estos fenómenos son considerados como fallas en los componentes eléctricos y pueden causar daños en los mismos, lo que puede llevar a interrupciones no programadas en el suministro de energía eléctrica y afectar la calidad del servicio eléctrico. Por lo tanto, la detección temprana de estos fenómenos mediante la técnica de ultrasonido acústico es importante para tomar medidas preventivas y correctivas y garantizar la continuidad del suministro eléctrico.

- La técnica de ultrasonido acústico puede detectar anomalías según lo indicado, las cuales deterioran los elementos en función del tiempo, por lo que será una ventaja al momento de aplicar esta técnica, Esto apoyará a visualizar con mayor detenimiento las anomalías La técnica de ultrasonido acústico proporciona una ventaja para detectar anomalías en las líneas de distribución de energía eléctrica debido a que estas anomalías pueden deteriorar los elementos con el tiempo. Al detectar estas anomalías con la técnica de ultrasonido acústico, se puede visualizar con mayor detalle las anomalías registradas, lo que permite tomar medidas preventivas y correctivas para evitar interrupciones no programadas en el suministro de energía eléctrica.

RECOMENDACIONES.

- Realizar un estudio similar en las 4 regiones del Ecuador a nivel de 13.8 kV para determinar cómo se comportan las anomalías en diferentes condiciones ambientales y a diferentes presiones atmosféricas. Esto permitiría entender cómo las condiciones ambientales y las presiones atmosféricas pueden afectar la aparición y el comportamiento de las anomalías en los elementos eléctricos. Al obtener información valiosa sobre cómo las condiciones ambientales y las presiones atmosféricas que pueden afectar la aparición y el comportamiento de las anomalías en los elementos eléctricos, se pueden desarrollar estrategias de mantenimiento más efectivas y mejorar la calidad del servicio eléctrico.

- Obtener una muestra de los elementos que presentan anomalías de efecto corona, tracking eléctrico y arco eléctrico, para realizar incisiones y determinar su causa raíz. Esto permitiría identificar las causas subyacentes de las anomalías en los elementos eléctricos y tomar medidas preventivas y correctivas para evitar futuras fallas y mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico.
- Diseño y desarrollo un software que permita elaborar informes más detallados y completos sobre el estado de los elementos eléctricos, lo que podría ser útil para la toma de decisiones y la planificación de estrategias de mantenimiento, el software podría cuantificar el costo de reparación de los elementos eléctricos, ser útil para la gestión de presupuestos y la planificación de proyectos de mantenimiento
- Se debe realizar una investigación de mantenimiento prescriptivo aplicado la técnica: de ultrasonido acústico para detectar anomalías y prever interrupciones de energía eléctrica, no programadas, de las líneas de distribución a nivel de 13.8 kV en el Ecuador, ya que este mantenimiento mejorado es un nuevo concepto que describe una estrategia de mantenimiento similar al predictivo, pero totalmente automatizado y donde se destaca la capacidad de identificar soluciones a los problemas detectados e incluso la programación automática de las tareas correctivas, ante esta situación existen soluciones como el Big Data Analysis, Machine Learning y la inteligencia artificial (IA), entre otras, las cuales pueden implementarse en forma de un “Modelo de Mantenimiento Prescriptivo”, enfocado en solucionar problemáticas de confiabilidad y optimización de procesos en las líneas de distribución.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agencia de Control y Regulación de Electricidad, “Mapa del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2018,” pp. 1–27, 2018.
- [2] “Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.” [Online]. Available: www.controlrecursosyenergia.gob.ec
- [3] “Resolución Nro. ARCERNNR -017/2020,” pp. 1–36, 2020.
- [4] H. Mauricio, “Mantenimiento,” pp. 1–22, 2013.
- [5] P. Carlos, Macías. Mónica, and B. Araceli, “Principios Físicos Básicos del Ultrasonido,” 2012. [Online]. Available: www.medigraphic.org.mx
- [6] B. Antonio, “Propagación de Ondas en Sistemas con Geometrías Complejas,” pp. 1–2014, Sep. 2009.
- [7] G. Nicolás, “Modelamiento y simulación del efecto ‘flashover voltage’ en los aisladores de suspensión de las líneas de transmisión de 500kv, ante el impacto de la caída de ceniza del volcán Cotopaxi en la zona de mayor influencia.,” 2019.
- [8] G. Javier and M. Alfredo, “Análisis Matemático de Aisladores Aplicado a Aisladores de Porcelana, Polímero y Vidrio, a Nivel de 13.8kV.”
- [9] C. Edwin and Y. Víctor, “Mantenimiento Predictivo Aplicando Técnicas: Visuales, Termográficas, Efecto Corona y Ultrasonido Acústico para Detectar Anomalías y Prever Interrupciones de Energía Eléctrica, no Programadas, de las Líneas de Subtransmisión en el Ecuador.,” 2019.
- [10] C. Adrián and C. Joffre, “Determinación y Análisis de Descargas Parciales Mediante Sensores de Emisiones Acústicas en Aisladores Tipo Pin 55-5,” 2022.
- [11] O. J. C. Francisco, “Procedimiento para el mantenimiento predictivo en subestaciones de 115 / 34,5 / 13,8 kv, utilizando técnicas de termografía y ultrasonido. caso de estudio. Empresa electricidad de Valencia.,” 2008.
- [12] O. Fabio, “Clasificación de Aislamiento Cerámico de Media Tensión mediante Ensayos de Laboratorio y Tratamiento de Señales de Ultrasonido,” 2019.
- [13] A. Chaou, A. Mekhaldi, and M. Tegar, “Elaboration of Novel Image Processing Algorithm for Arcing Discharges Recognition on HV Polluted Insulator Model,” pp. 1–15, 2015, doi: 10.1109/TDEI.2014.004549.
- [14] B. Vahidi, M.J. Alborzi, H. Aghaeinia, and M. Abedi, “Corona detection on surfaces of insulators using ultrasound sensors and fibre-optic transmission systems,” *European Transactions on Electrical Power*, vol. 15, no. 5. pp. 413–424, Sep. 2005. doi: 10.1002/etep.50.

- [15] M. Florkowski and M. Kuniewski, "Effects of nanosecond impulse and step excitation in pulsed electro acoustic measurements on signals for space charge determination in high-voltage electrical insulation," *Measurement (Lond)*, vol. 211, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.measurement.2023.112677.
- [16] S. Eulogio, C. Néstor, Y. Julio, R. David, and P. Palomino, "El Ultrasonido y su Aplicación," vol. 8, pp. 1–5, 2005.
- [17] O. Luis, "Manifestaciones del efecto corona en líneas de transmisión de corriente alterna," vol. 73, pp. 1–8, 1986.
- [18] G. Carlos, "Adoptando ISO 29821-1 Para El Diagnostico de Fallas Electricas," pp. 1–7.
- [19] C. Mario Ricardo and G. Miguel Eugenio, "Diagnóstico de redes de distribución de redes aéreas de 11.4 hasta 34.5 kV con la técnica de ultrasonido."
- [20] J. Cervantes, "Sistemas de distribución de energía eléctrica.," 1995.
- [21] C. Samuel, "Redes de Distribución de Energía," 2004.
- [22] A. Mayra, "Diseño de proyecto eléctrico para acometida de 69KV en subestación para servicios de tratamiento de aguas residuales," 2017.
- [23] O. Juan, M. Jonathan, and P. Cuenca, "Diseño y construcción de un simulador de lluvia para el laboratorio de alta tensión de la UPS-CUENCA," 2018.
- [24] Grupo EPM, "Especificación Técnicas para aisladores de porcelana y vidrio," 2018.
- [25] A. Ricardo, "Medida de descargas parciales en radiofrecuencia," 2014.
- [26] M. Carlos, "Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa Guía didáctica," 2011.
- [27] V. Rosa, "Técnicas de Submuestreo, Tomas de Decisiones y Análisis de Diversidad en aprendizaje Supervisado con Sistemas Múltiples de Clasificación," 2006.

ANEXO N.- 1 Manual y procedimiento de usuario

ANEXO 1		MANUAL Y PROCEDIMIENTOS DE USUARIO			
NOMBRE DEL PROCESO		MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LINEAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA			
ASUNTO		PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN ULTRASONIDO ACÚSTICO			
FECHA DE VIGENCIA	12-2023	REV. N.º 1	CODIFICACIÓN		Pág. 1 de 6
AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO					
Pasos	Responsable		Actividad		
1	Jefe de Mantenimiento		1.1 Revisa si tiene informes o solicitudes pendientes ¿Hay informes o solicitudes? 1.1.a Evalúa los informes y atiende las solicitudes 1.1.b Realiza correcciones 1.1.c Soluciona problemas 1.2.d Da instrucciones a los Técnicos ¿No hay informes o solicitudes? 1.2 Elabora una Orden de Trabajo		
2	Jefe de Mantenimiento		2.1 Selecciona al personal que realizará la inspección		
3	Técnico		3.1 Selecciona los equipos, implementos y accesorios que se usarán en la prueba de ultrasonido		
4	Técnico		4.1 Verifica que el equipo de ultrasonido funciona correctamente 4.2 Revisa la carga de la batería. ¿Funciona? → (Paso 5); ¿Si no funciona? 4.2.a Redacta informe 4.2.b Entrega informe al jefe de mantenimiento 4.2.c Espera instrucciones		
5	Técnico		5.1 Solicita el formato de Ultrasonido ¿Hay formato? a) Anota la fecha y la hora b) Anota el lugar de la inspección → (Paso 6) ¿No hay formato? 5.2 Busca en la base de datos del PC 5.3 Imprime el formato → (5.1.a)		
ELABORADO POR:		REVISADO POR:		AUTORIZADO POR:	

ANEXO 1		MANUAL Y PROCEDIMIENTOS DE USUARIO			
NOMBRE DEL PROCESO		MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LINEAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA			
ASUNTO		PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN ULTRASONIDO ACÚSTICO			
FECHA DE VIGENCIA	12-2023	REV. N° 1	CODIFICACION		Pág. 2 de 6
AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO					
Pasos	Responsable		Actividad		
6	Técnico		6.1 Solicita diagrama unifilar de la subestación ¿Hay diagrama unifilar? 6.1.a Revisa el diagrama 6.1.b Plantea las rutas posibles 6.1.c Elabora una ruta de inspección → (Paso 7) ¿No hay diagrama unifilar? 6.2 Busca en la Base de Datos del PC 6.3 Imprime el Diagrama → (6.1.a)		
7	Técnico		7.1 Clasifica los elementos a inspeccionar 7.2 Consulta Historiales de fallas de cada elemento 7.3 Selecciona los datos recientes → (Paso 8)		
8	Técnico		8.1 Ajusta los Parámetros del Equipo cambiando: 8.1.a Frecuencia 8.1.b Distancia 8.1.c Angulo de medición → (Paso 9)		
9	Técnico		9.1 Rastrea el ultrasonido del elemento si existe ¿Se logra escuchar bien? 9.1.a Graba el ultrasonido 9.1.b Realiza un respaldo 9.1.c Obtiene una foto digital del elemento 9.1.d Completa el formato de ultrasonido 9.1.e Identifica el elemento → (Paso10) ¿No se logra escuchar nada? 9.2 Varía la frecuencia 9.3 Cambia el ángulo de medición		
ELABORADO POR:		REVISADO POR:		AUTORIZADO POR:	

ANEXO 1		MANUAL Y PROCEDIMIENTOS DE USUARIO			
NOMBRE DEL PROCESO		MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LINEAS DE DISTRIBUCIÓN ELECTRICA			
ASUNTO		PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN ULTRASONIDO ACÚSTICO			
FECHA DE VIGENCIA	12-2023	REV. N.º 1	CODIFICACIÓN		Pág. 3 de 6
AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO					
Pasos	Responsable	Actividad			
9	Técnico	9.4 Cambia la distancia sin salir de los valores máximos y mínimos que da el fabricante del equipo 9.5 Corrige los parámetros 9.6 Verifica los ajustes 9.7 Anota los cambios realizados → (9.1)			
10	Técnico	10.1 Obtiene el ultrasonido con distancia máxima 10.1.a Procede similarmente al paso (9) pero usando la distancia máxima permitida 10.2 Obtiene el ultrasonido con distancia mínima 10.2.a Procede similarmente al paso (9) pero usando la distancia mínima permitida 10.3 Compara de forma auditiva los ultrasonidos grabados en los pasos (9) y (10) 10.4 Establece conclusiones, recomendaciones y observaciones de cada ultrasonido → (Paso 11)			
11	Técnico	11.1 Verifica si terminó toda la inspección de los diferentes elementos ¿Termino la inspección? → (Paso 12) ¿No termino la inspección? 11.2 Continúa la inspección con el siguiente elemento de la ruta → (Paso 8)			
12	Técnico	12.1 Verifica los archivos de ultrasonido grabados 12.2 Retira la unidad de almacenamiento de datos del receptor de ultrasonido si existe y la guarda 12.3 Apaga el receptor de ultrasonido 12.4 Retira la batería del receptor			
ELABORADO POR:		REVISADO POR:		AUTORIZADO POR:	

ANEXO 1		MANUAL Y PROCEDIMIENTOS DE USUARIO			
NOMBRE DEL PROCESO		MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LINEAS DE DISTRIBUCIÓN ELECTRICA			
ASUNTO		PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN ULTRASONIDO ACÚSTICO			
FECHA DE VIGENCIA	12-2023	REV. N° 1	CODIFICACIÓN		Pág. 4 de 6
AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO					
Pasos	Responsable		Actividad		
12	Técnico		12.5 Guarda el receptor → (Paso13)		
13	Técnico		13.1 Transfiere los datos grabados en la unidad de almacenamiento extraíble o desde el receptor de ultrasonido a la PC 13.2 Respalda los datos en un CD 13.3 Emplea el software específico de procesamiento de archivos de ultrasonido compatible con el receptor utilizado en la prueba 13.3.a Procesa el primer archivo de ultrasonido 13.3.b Evalúa cada archivo y lo compara con el patrón de ultrasonido respectivo con la ayuda del software 13.3.c Analiza los resultados de cada ultrasonido 13.3.d Emite conclusiones de cada uno de los ultrasonidos analizados. ¿Se detectó una falla? 13.4 Identifica el elemento fallado y su ubicación exacta 13.5 Determina el tipo de falla causada, de acuerdo a la coincidencia con los patrones ultrasónicos de Efecto corona, Tracking o Arco eléctrico 13.6 Describe el tipo de falla 13.7 Evalúa el grado de severidad indicando si es: Bajo, Medio, Alto, Muy alto o Crítico. 13.8 Realiza un reporte en el formato de inspección		
ELABORADO POR:		REVISADO POR:		AUTORIZADO POR:	

ANEXO 1		MANUAL Y PROCEDIMIENTOS DE USUARIO			
NOMBRE DEL PROCESO		MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LINEAS DE DISTRIBUCIÓN ELECTRICA			
ASUNTO		PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN ULTRASONIDO ACÚSTICO			
FECHA DE VIGENCIA	12-2023	REV. N.º 1	CODIFICACIÓN		Pág. 5 de 6
AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO					
Pasos	Responsable	Actividad			
13	Técnico	13.9 Plantea soluciones (corto, mediano o largo plazo) ¿Hay más ultrasonidos? → (13.10) ¿No se detectó una falla? ¿Hay más ultrasonidos? → (13.10) 13.10 Procesa el siguiente termograma → (13.3.b) ¿No hay más ultrasonidos? → (Paso 14)			
14	Técnico	14.1 Realiza Informe Final de la subestación 14.2 Firma el Informe y lo fotocopia 14.3 Envía al Jefe de Mantenimiento los dos Informes (Original y Copia) → (Paso 1) 14.4 Recibe copia del Informe firmada por el Jefe de Mantenimiento 14.5 Actualiza los Historiales de fallas 14.6 Archiva copia del informe y los historiales 14.7 Espera Instrucciones del Jefe de Mantenimiento ¿Hay instrucciones → (Paso 15) ¿No hay instrucciones → (Paso 16)			
15	Técnico	15.1 Lee las instrucciones 15.2 Ejecuta las Instrucciones ¿Hay Mantenimiento Correctivo? 15.2.a Coordina con el Jefe de Mantenimiento el Plan General de trabajo 15.2.b Realiza Mantenimiento Correctivo de acuerdo al plan			
ELABORADO POR:		REVISADO POR:		AUTORIZADO POR:	

ANEXO 1		MANUAL Y PROCEDIMIENTOS DE USUARIO			
NOMBRE DEL PROCESO		MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LINEAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA			
ASUNTO		PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN ULTRASONIDO ACÚSTICO			
FECHA DE VIGENCIA	12-2023	REV. N.º 1	CODIFICACIÓN		Pág. 6 de 6
AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO					
Pasos	Responsable		Actividad		
15	Técnico		15.2.c Reestablece el servicio 15.2.d Verifica el funcionamiento de los elementos corregidos 15.3 Elabora informe de Mantenimiento correctivo 15.4 Envía informe al jefe de mantenimiento 15.5 Solicita al Jefe de Mantenimiento la Prueba de Ultrasonido de los elementos sometidos a Mantenimiento Correctivo → (Paso 1) ¿Si no hay Mantenimiento Correctivo? → (Paso 16)		
16	FIN DEL PROCEDIMIENTO				
ELABORADO POR:		REVISADO POR:		AUTORIZADO POR:	

ANEXO N.- 2 Especificaciones técnicas equipo de ultrasonido acústico CTLR 101

Especificaciones técnicas equipo de ultrasonido acústico

Especificaciones Técnicas

Dimensiones del receptor / transmisor

222 x 32 x 32 mm (8,75 "x 1,26" x 1,26")

4,125 "x 1,26" x 1,26 "(105 x 32 x 32 mm)

Dimensiones de envío del kit

43 x 20 x 35 cm (17 x 8 x 14 pulgadas)

Peso de envío del kit

9 libras (4 kg)

Carcasa

Aluminio extruido, espesor de pared .09 "(2,3 mm)

Batería

Alcalina de 9 voltios (> 45 horas continuas de uso)

Distancia de recepción

Hasta 150 pies (45 m)

Umbral de sensibilidad

Intensidad mínima: 10-12 W / m² (0 dB SPL)

Presión ultrasónica mínima: 2,0 x 10⁻⁵ PA a 40 kHz

Ancho de banda de frecuencia

1.8 - 2.2 kHz @ nivel 0.7 (o -3 dB SPL)

Frecuencia de resonancia de trabajo

40 kHz +/- 1,5 kHz

Rango de temperatura de funcionamiento

-4 ° a + 130 ° F (-20 ° a + 54 ° C)

Auriculares

Impedancia de grado industrial / 600 ohmios

Atenuación de ruido externo de 21-24 dB

Encima o detrás de la cabeza (para usar con casco)

Garantía

5 años para piezas y mano de obra en todos los defectos del fabricante.

No se requiere calibración.

