

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



TEMA:

**MAPEO TÉRMICO A TRAVÉS DE DRON DEL ALIMENTADOR 3 DE LA
SUBESTACIÓN CAROLINA DE EMELNORTE PARA MANTENIMIENTO
PREDICTIVO.**

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniera Eléctrica
--

AUTORA:

Dayana Raquel Gómez Angamarca

DIRECTOR:

Olger Gilberto Arellano Bastidas

Ibarra, febrero de 2025

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1005008436		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Gómez Angamarca Dayana Raquel		
DIRECCIÓN:	Ibarra – Nazacota Puento y Calle Santa Lucia		
EMAIL:	drgomeza@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2-514-898	TELÉFONO MÓVIL:	0979074929

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“MAPEO TÉRMICO A TRAVÉS DE DRON DEL ALIMENTADOR 3 DE LA SUBESTACIÓN CAROLINA DE EMELNORTE PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO”.
AUTOR (ES):	Gómez Angamarca Dayana Raquel
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	20/02/2025
PROGRAMA:	☒ PREGRADO ☐ POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Eléctrica
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Segundo Hernán Pérez Cruz MSc Ing. Olger Gilberto Arellano Bastidas MSc

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días del mes de febrero de 2025

EL AUTOR:



Gómez Angamarca Dayana Raquel

drgomez@utn.edu.ec

CI:1005008436

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, MSc. Olger Gilberto Arellano Bastidas en calidad de director de la señorita estudiante Gómez Angamarca Dayana Raquel, certifico que ha culminado con las normas establecidas en la colaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: "MAPEO TÉRMICO A TRAVÉS DE DRON DEL ALIMENTADOR 3 DE LA SUBESTACIÓN CAROLINA DE EMELNORTE PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO".

Para la obtención del título de Ingeniera Eléctrica, aprobado la defensa, impresión y empastado.



MSc. Olger Gilberto Arellano Bastidas

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

DEDICATORIA

.. ﷐ ..

A mis padres

Cesar Gómez y

Terea Angamarca.

A mi hermano Jesús.

.. ﷐ ..

AGRADECIMIENTOS

A Cesar y Teresa mis padres que me han apoyado de manera incondicional en este periodo de mi vida, ustedes fueron y serán siempre esa luz en mi camino y por la que me levanto día a día.

A Jesús mi hermano ya que fuiste tú mi inspiración a seguir esta carrera.

A mi querido gatito ♡ el cual me acompañó en mis alegrías y tristezas. Gracias por sacarme una sonrisa y darme ánimos.

A mi tutor de tesis MSc. Olger Arellano por su orientación, paciencia, guía en el transcurso y proceso de esta tesis.

A Nixon Espinoza por su paciencia, guía y colaboración en el proceso de la elaboración de mi trabajo de titulación.

A mis amigos A&B y compañeros con los que compartí risas y no dejaron que me rinda; y creyeron en mí más que mí misma.

A aquellas personas que me acompañaron en el transcurso de la carrera.

A mí, ya que pese a todo y obstáculos sabía que lo tenía que hacer, pasito a pasito sin prisa, pero lo logré.



Índice de Contenido

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT	XVI
CAPITULO 1	1
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.2 FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 ALCANCE Y DELIMITACIÓN	2
1.4 JUSTIFICACIÓN	3
CAPITULO 2	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 ANTECEDENTES	5
2.2 SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.	7
2.2.1 TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.....	8
2.2.2 DESARROLLOS EN TERMOGRAFÍA CON DRONES.	8
2.3 TECNOLOGÍA TERMOGRÁFICA PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.	9
2.3.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA TERMOGRAFÍA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA CON DRONES.	10



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



2.3.2	FACTORES QUE REPERCUTEN EN EL ANÁLISIS TERMOGRÁFICO DE REDES ELÉCTRICAS CON DRONES.	12
2.3.3	CONDICIONES ESENCIALES PARA LA REALIZACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA CON DRONES.	13
2.3.4	IMPLEMENTACIÓN DE TERMOGRAFÍA EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE REDES DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA CON DRONES.	14
2.4	UTILIZACIÓN DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN EL MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES. ..	15
2.4.1	APLICACIONES DE TERMOGRAFÍA EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE EQUIPOS EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.	17
2.4.2	CRITERIOS DE ANÁLISIS DE TEMPERATURA EN TERMOGRAFÍA PARA SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.	17
2.4.3	INTEGRACIÓN DE CÁMARAS TERMOGRÁFICAS A DRONES EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE REDES ELÉCTRICAS.	18
2.4.4	PRECISIÓN EN LA MEDICIÓN DE CÁMARAS TERMOGRÁFICAS CON DRON.	19
2.4.5	CAUSAS DE INCREMENTO TÉRMICO DETECTADAS POR CÁMARAS TERMOGRÁFICAS.	20
	CAPITULO 3.....	21
	MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1	DELIMITACIÓN DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN	22
3.1.1	ruta de MAPEO TÉRMICO DEL K3	23
3.2	ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	24
3.2.1	ENFOQUE	24
3.2.2	INVESTIGACIÓN.....	25
3.3	MATERIALES, EQUIPOS Y SOFTWARE.....	25



3.3.1	DJI ZENMUSE H20T	26
3.3.2	MATRICE 300 RTK	27
3.3.3	CÁMARA TERMOGRÁFICA INDUSTRIAL FLUKE Ti32	29
3.4	MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	31
3.4.1	MÉTODO	31
3.4.2	TÉCNICA	32
3.5	PROTOCOLOS DE SEGURIDAD Y PERMISOS	32
3.5.1	PARÁMETROS EN EL ANÁLISIS DE TEMPERATURA.....	32
3.5.2	CONDICIONES DEL MAPEO TÉRMICO.....	33
3.5.3	CONDICIONES Y DE VUELO	34
3.5.4	CONDICIONES EXTERNAS	34
3.6	EQUIPO TÉCNICO PARA MAPEO TÉRMICO.....	35
3.7	PROCEDIMIENTO DE MAPEO TÉRMICO EN EL CIRCUITO K3 MEDIANTE EL DRON MATRICE 300 RTK	36
3.8	RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE MAPEO TÉRMICO DE LA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN DEL CIRCUITO K3	39
3.8.1	DESCRIPCIÓN DE UN PUNTO CRÍTICO DEL CIRCUITO K3	39
3.8.2	RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS PUNTOS CALIENTES PRESENTES EN EL CIRCUITO K3 ..	41
3.9	ANÁLISIS DE COMPONENTES QUE PRESENTARON PUNTOS CALIENTES EN EL CIRCUITO K3 ..	42
3.9.1	CONECTOR DE ALEACIÓN DE AL, CON COMPRESIÓN TIPO "H" EN EL POSTE 121270	42
3.9.2	CONECTOR DE ALEACIÓN DE AL, CON COMPRESIÓN TIPO "H" EN EL POSTE 121308	43
3.9.3	PARARRAYOS CLASE DE DISTRIBUIDOR POLIMÉRICO, ÓXIDO METÁLICO, 5kV, CON DESCONECTADOR EN EL POSTE 121968	43



3.9.4	CONECTOR DE ALEACIÓN DE CU – AL, RANURAS PARALELAS, DOS PERNOS LATERALES DE DIFERENTES LONGITUDES Y SEPARADOR UBICADO EN EL POSTE 121988.....	44
3.9.5	CONECTOR DE ALEACIÓN DE CU – AL, RANURAS PARALELAS, DOS PERNOS LATERALES DE DIFERENTES LONGITUDES Y SEPARADOR UBICADO EN EL POSTE 124436.....	45
3.9.6	CONECTOR ALEACIÓN DE CU - AL, RANURAS PARALELAS UBICADO EN EL POSTE 123022	45
3.10	DIAGNÓSTICO GENERAL DEL DE LOS PUNTOS CRÍTICOS EN LA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN DEL CIRCUITO K3.....	46
3.10.1	CUADRO DE REPORTES	49
CAPITULO 4.....		51
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		51
4.1	PROCESO DE PROPUESTAS Y ESTRATEGIAS PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR MAPEO TÉRMICO	51
4.2	DIRECTRICES DEL PROCESO DE TRABAJO	53
4.3	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN MEDIDOR AMBIENTAL PARA DETERMINAR ACCESIBILIDAD Y OPERATIVIDAD DURANTE EL MAPEO TÉRMICO EN EL CIRCUITO K3	53
4.3.1	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA CÁMARA ULTRAVIOLETA (UV).....	55
4.4	ESTRATEGIA DE GESTIÓN Y SEGURIDAD DEL VUELO	55
4.5	PROPUESTA DE DOCUMENTACIÓN DEL PROCESO DE TRABAJO	56
4.5.1	DATOS GENERALES Y CARACTERÍSTICAS POSICIONALES	56
4.5.2	CONDICIONES DE INSPECCIÓN TÉRMICA	57
4.5.3	ANÁLISIS TÉRMICO	57
4.5.4	MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	58



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



4.6	PROPUESTA DE VERIFICACIÓN DE EJECUCIÓN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN EL CIRCUITO K3	59
	CONCLUSIONES	60
	RECOMENDACIONES	61
	REFERENCIAS	62
	ANEXOS A	69
	ANEXO B	81



Índice de Figuras

Figura 1 Sistema del dron con termografía.....	9
Figura 2 Imagen térmica y de campo con anomalía.	10
Figura 3 Esquema del proceso para realizar termografía aérea.	15
Figura 4 Patrón de calor detectado por cámara termográfica.	19
Figura 5 Proceso de Investigación respecto al tema de tesis.	21
Figura 6 Subestación eléctrica La Carolina fotografiada con dron.....	22
Figura 7 S/E Carolina tomada del GeoPortal de EmelNorte.	23
Figura 8 Se muestra el inicio del circuito K3 en la subestación eléctrica La Carolina.....	24
Figura 9 Imagen de cámara DJI Zenmuse H20T.	26
Figura 10 Imagen de Matrice 300 RTK.	28
Figura 11 Cámara termográfica industrial Fluke Ti32.	30
Figura 12 Procedimiento y Análisis de Datos de Termografía con Dron.....	36
Figura 13 Se muestra la verificación de equipos como el mando, baterías, cámara y dron respectivamente.....	37
Figura 14 Zona de inicio de partida y despegue	38
Figura 15 Evaluación en el primer punto de inicio del circuito K3(Foto campo/Foto térmica)	38
Figura 16 Punto caliente en el Conector 121270 con temperatura de 31.3°C	42
Figura 17 Punto caliente en el Conector 121308 con temperatura máxima de 37.7°C	43
Figura 18 Punto caliente en el Conector 121968 con temperatura máxima de 42.5°C	44
Figura 19 Punto caliente en el Conector 121988 con temperatura máxima de 53.6°C	44
Figura 20 Punto caliente en el conector 124436 con temperatura máxima de 38.1°C	45
Figura 21 Punto caliente en el conector 123022 con temperatura máxima de 38.1°C	46
Figura 22 Vegetación topando línea de medio voltaje en el circuito K3.....	48
Figura 23: Diagrama de flujo del proceso de Mapeo térmico para Mantenimiento predictivo	52



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



Figura 24 Anemómetro Kestrel 5500.	54
Figura 25 Datos generales de la ficha técnica y nivel de criticidad de falla térmica	56
Figura 26 Características posicionales de inspección y estado de equipos en campo	57
Figura 27 Parámetros de las condiciones ambientales de la inspección térmica y resultados técnicos	57
Figura 28 Sección de análisis térmico del punto caliente de la estructura o equipo	58
Figura 29 Sección de reporte actividades correctivas	58
Figura 30: Imagen térmica que no presenta “puntos calientes” (foto térmica / foto real).	59



Índice de Tablas

Tabla 1 Acciones Sugeridas en Función del Aumento de la Temperatura	11
Tabla 2 Ficha Técnica de DJI Zenmuse H20T.	26
Tabla 3 Ficha Técnica de Matrice 300 RTK.....	28
Tabla 4 Ficha Técnica de Cámara.....	30
Tabla 5 Clasificación de Criticidad de Fallas Eléctricas	33
Tabla 6 Parámetros y Valores Durante el Mapeo Térmico en K3	33
Tabla 7 Condiciones de IP para EQUIPO EL Mapeo Térmico y su IP.....	34
Tabla 8 Equipo de Trabajo y Funciones en el K3.....	35
Tabla 9 Análisis del Mapeo Térmico en el K3	41
Tabla 10 Características y Descripción de los Puntos Calientes en el Circuito K3.....	46
Tabla 11 Interferencias Externas para Definir Grado de Severidad en el Circuito K3.....	48
Tabla 12 Cuadro del Diagnóstico en los Puntos Calientes del Circuito K3	49
Tabla 13 Influencia del Anemómetro Kestrel 5500 en las Actividades del Mapeo Térmico ...	54
Tabla 14 funciones y acciones del personal de gestión y seguridad del vuelo	55



Resumen

Las empresas distribuidoras de energía requieren implementar estrategias de mantenimiento que garanticen un servicio eléctrico confiable y eficiente. Dentro de estas estrategias, el mantenimiento predictivo se destaca por su capacidad de reducir costos asociados al mantenimiento correctivo y preventivo, ya que permite detectar anomalías antes de que se conviertan en fallas críticas. Esta metodología se basa en el uso de herramientas especializadas y pruebas de diagnóstico que no interfieren en la operación del sistema eléctrico. El presente estudio se centra en la aplicación de mapeo térmico mediante dron, una técnica que ofrece un análisis del estado de los componentes en la línea de distribución de la Subestación La Carolina. Su implementación permite identificar sobrecalentamientos en elementos como seccionadores, capacitores, interruptores y reconectores, facilitando la toma de decisiones oportunas para mitigar riesgos y optimizar la operación de la red.

Palabras clave: Termografía, mantenimiento, Dron, Circuito, Alimentador, Severidad.



Abstract

Energy distribution companies require the implementation of maintenance strategies that ensure a reliable and efficient electrical service. Among these strategies, predictive maintenance stands out for its ability to reduce costs associated with corrective and preventive maintenance, as it allows for the detection of anomalies before they become critical failures. This methodology is based on the use of specialized tools and diagnostic tests that do not interfere with the operation of the electrical system. The present study focuses on the application of thermal mapping using drones, a technique that provides an analysis of the condition of the components in the distribution line of the La Carolina Substation. Its implementation allows for the identification of overheating in elements such as disconnectors, capacitors, switches, and reclosers, facilitating timely decision-making to mitigate risks and optimize the operation of the network.

Keywords: Thermography, Maintenance, Drone, Circuit, Feeder, Severity.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

MAPEO TÉRMICO A TRAVÉS DE DRON DEL ALIMENTADOR 3 DE LA SUBESTACIÓN CAROLINA DE EMELNORTE PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO

1.1 Problema de investigación

1.1.1 Planteamiento del Problema

En los sistemas de distribución eléctrica, los alimentadores y las subestaciones desempeñan un papel crucial en la entrega del servicio eléctrico y su correcto funcionamiento está ligado a la continuidad de este servicio. A fin de garantizar el servicio las empresas distribuidoras realizan varios tipos de mantenimiento como preventivo, correctivo y predictivo

Respecto a [10] “Calidad del servicio técnico” considera los indicadores FMIk (Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal instalado) y TTIk (Tiempo Total de Interrupción por kVA nominal instalado) como parámetros cruciales para evaluar la calidad del servicio.

En el marco de este análisis, resulta crucial determinar los inconvenientes dentro de los índices de interrupción por desconexión por puntos calientes en el circuito del Alimentador 3 (K3) de la Subestación Eléctrica (S/E) La Carolina de Empresa Eléctrica Regional Norte S.A. (EmelNorte). Existe la necesidad de un método efectivo de análisis que permita buscar soluciones que optimicen la detección temprana de fallos y permitan la implementación de medidas predictivas.

Las limitaciones de acceso, en áreas de difícil alcance especialmente en zonas rurales o marginales que no permiten una evaluación integral del K3 donde es primordial identificar las causas subyacentes de los problemas que emergen durante la hora pico, zonas donde las fallas ocurren con mayor frecuencia y desconexiones por puntos calientes que afectan la continuidad del servicio eléctrico. Para la investigación de Mapeo térmico a través de dron para mantenimiento predictivo, se realiza un estudio con el fin de obtener fundamentos relacionados con el tema de



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



investigación como trabajos de titulación, los cuales se enfocan en su funcionamiento, importancia, análisis de termografía, técnicas de estudio, análisis de anomalías en las redes eléctricas de medio voltaje (MV), evaluación del estado de los componentes y planteamientos de posibles mejoras operativas.

1.1.2 Formulación de la pregunta de investigación

¿Qué equipos o zonas del circuito presentan mayor incidencia de puntos calientes mediante el mapeo térmico que permitan la detección de fallas y la planificación de un mantenimiento predictivo para mejorar los índices de interrupción en el Alimentador 3 de la Subestación Eléctrica La Carolina de EmelNorte?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Realizar un mapeo térmico asistido por dron en el Alimentador 3 de la Subestación La Carolina para análisis de mantenimiento predictivo.

1.2.2 Objetivos específicos

- 1 Describir la tecnología termográfica asistido por dron para redes de distribución eléctrica.
- 2 Diagnosticar el estado de las líneas de distribución del Alimentador 3 de la Subestación La Carolina de EmelNorte a través del mapeo térmico asistido por dron.
- 3 Desarrollar propuestas de estrategias para la planificación del mantenimiento predictivo en el Alimentador 3 de la Subestación La Carolina de EmelNorte, utilizando como fundamento el mapeo térmico asistido por dron.

1.3 Alcance y Delimitación

El alcance del proyecto abarca un análisis de los indicadores asociados con problemas y fallos eléctricos en el circuito K3 de la S/E La Carolina de EmelNorte. Mediante el empleo de tecnología de drones y cámaras termográficas, se llevará a cabo un levantamiento de datos,



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



permitiendo la identificación de posibles anomalías térmicas y debilidades en los componentes eléctricos. La información recopilada servirá como base para analizar patrones específicos de fallas y proponer estrategias centradas en el mantenimiento predictivo.

Durante el sobrevuelo del circuito, la atención se centrará en la búsqueda de puntos calientes, para identificar el punto más neurálgico del sistema o áreas propensas a desconexiones. Este enfoque se complementará con un énfasis particular en el mapeo térmico en tiempo real, permitiendo determinar las razones subyacentes de posibles disfunciones. Este enfoque estratégico facilitará una comprensión más profunda de las problemáticas, allanando el camino para la implementación de medidas correctivas efectivas. La termografía se rige como una herramienta esencial en el ámbito de mantenimiento, ofreciendo la capacidad de realizar análisis a distancia, evitando la necesidad de contacto directo. Su utilidad radica en la capacidad de proporcionar información térmica sin perturbar el sistema. Esta tecnología avanzada permite la detección temprana de posibles problemas, respaldando así los esfuerzos de mantenimiento de manera eficiente y precisa. La incorporación de la termografía como parte integral del proyecto contribuirá significativamente a la identificación y solución de los problemas operativos en el circuito del Alimentador K3.

1.4 Justificación

El estudio de los problemas y fallos eléctricos en el K3 de la S/E La Carolina de EmelNorte surge como una necesidad crítica en el ámbito de la gestión de infraestructuras eléctricas. La importancia de este análisis radica en la capacidad de mejorar la confiabilidad y eficiencia del sistema, mitigando las interrupciones y optimizando las operaciones. La elección de utilizar tecnología de drones y cámaras termográficas se sustenta en la capacidad de estas herramientas para proporcionar un enfoque detallado y no invasivo en la identificación de anomalías térmicas y debilidades en los componentes eléctricos.

La división de la zona de estudio en sectores, basada en el análisis de corrientes y otros datos relevantes, se presenta como una estrategia efectiva para abordar la complejidad del circuito.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



Este enfoque facilita la identificación de puntos sensibles y zonas con mayor probabilidad de falla, proporcionando así una base sólida para el desarrollo de estrategias de mantenimiento. La coordinación con las áreas operativas de la empresa se considera esencial para asegurar la implementación eficaz de las medidas correctivas, maximizando así la eficiencia del sistema eléctrico.

El sobrevuelo del circuito, con especial atención a los puntos calientes, se justifica por su capacidad para determinar el punto más neurálgico del sistema. Este enfoque estratégico, respaldado por un énfasis en el mapeo térmico en tiempo real, permite una comprensión más profunda de las problemáticas, allanando el camino para la ejecución eficiente de medidas correctivas. La inclusión de la termografía como herramienta básica para el mantenimiento añade un componente crucial al proyecto, al permitir análisis a distancia y no intrusivos, contribuyendo así a la identificación temprana de posibles problemas y a la mejora general del sistema eléctrico en la S/E La Carolina de EmelNorte.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En la investigación de mantenimiento predictivo aplicando la termografía mediante dron en el K3 de la S/E La Carolina perteneciente a EmelNorte se enfoca en destacar la importancia de la termografía como una herramienta segura para el mantenimiento, y el dron como un equipo que permite realizar una detección mucho más eficiente de fallas producidas por puntos caliente en el alimentador, a su vez que su tiempo de operatividad y la accesibilidad es más sencillo.

Se destaca que, tradicionalmente, las investigaciones relacionadas con la inspección de líneas eléctricas han utilizado metodologías convencionales basadas en el reconocimiento y mantenimiento de equipos, ya sea a pie o desde vehículos, con el fin de recopilar información sobre su estado y realizar inspecciones visuales. [1]. La automatización de estas inspecciones ha sido objeto de atención como una innovación para aumentar la calidad y la eficiencia de la gestión de activos para evitar el crecimiento en recursos y costos [2]. Es así como la integración de Vehículos Aéreos no Tripulados reduce costos económicos y logra ofrecer una vista clara de posibles fallas térmicas.

La termografía infrarroja se ha destacado como una herramienta eficiente en el monitoreo de equipos o componentes eléctricos, llegando a proporcionar resultados consistentes independientemente del voltaje en que se encuentre operando el equipo. Esto ha impulsado su aplicación en diversas áreas de monitoreo térmico de equipos, llegando a establecerse como una técnica versátil y eficiente.

Por esta razón el avance y evolución de las tecnologías desempeñan un papel importante para el desarrollo de la sociedad. En este contexto, surge un equipo didáctico y versátil en la actualidad como el "dron". Este Sistema Aéreo Pilotado por un Control Remoto se comprende como un dispositivo de enlace de comunicaciones, además la estación de tierra en conjunto con el



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



dron, se denominan también como Vehículo Aéreo no Tripulado (VANT)[3]. La utilización de estos dispositivos abarca diversos campos, como la cinematografía, grabación aérea y fotografía en el ámbito audiovisual, así como aplicaciones en fotogrametría, topografía, minería, mapeo, vigilancia, búsqueda, inspección de infraestructuras, gestión de desastres, transporte, inspección de vías y tráfico, control de obras, termografía, entre otros.

Sin embargo, a pesar de las ventajas de la termografía infrarroja, esta se enfrenta a desafíos en la implementación de inspecciones mediante VANT en los servicios diarios. Uno de los principales obstáculos es su limitación para abordar tareas específicas de inspección de líneas eléctricas, lo que conduce a la necesidad de emplear múltiples drones para realizar inspecciones exhaustivas [4].

Adicionalmente, se identifican desafíos relacionados con la carencia de sistemas de comunicación y control, así como la brecha existente entre la recopilación y el análisis de datos.

No obstante, los avances recientes en aprendizaje junto con mejoras en cámaras y sensores están transformando la inspección de líneas eléctricas. Este enfoque en la industria energética destaca por su capacidad para abordar una amplia gama de fallas en una sola inspección, promoviendo una mejora significativa en la eficiencia y efectividad de los procesos de monitoreo [5]. Estos antecedentes destacan la relevancia de explorar y aplicar la termografía infrarroja en el contexto específico de la inspección de líneas eléctricas mediante drones para el mantenimiento predictivo.

A partir de esto se realiza análisis de diferentes casos de estudio, enfocados termografía y como se relaciona en diferentes estudios.

Es así como el estudio [6] enfocado en la termografía, destaca la investigación realizada en la Empresa Coelvisac, donde la investigación revisada implicó el uso de equipos tecnológicos para analizar y comprender la operación de unos alimentadores, se aplicaron métodos de análisis de fallas para identificar problemas potenciales y se seleccionó un plan de mantenimiento predictivo para optimizar la eficiencia operativa del sistema eléctrico.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



Un estudio adicional [7] amplió la aplicación de la termografía a la reducción de desconexiones no programadas y minimizar el impacto en los índices de calidad en la infraestructura eléctrica de las redes de distribución de medio voltaje en el alimentador primario, donde analizaron varios puntos clave en el alimentador, gestionaron áreas que necesitan atención prioritaria y planificaron futuros mantenimientos predictivos.

La utilización de drones en la investigación de Diagnóstico Visual-térmico en sistemas eléctricos de subtransmisión y distribución para efectuar mantenimientos [8], demostró ser eficiente al posibilitar revisiones en ubicaciones a las que el personal humano tiene dificultades para acceder, como en áreas fuera de las ciudades. Destacando que la termografía reduce el riesgo para el personal y evitar su exposición a condiciones potencialmente peligrosas.

Además, una propuesta de un sistema de evasión de obstáculos para drones [9], resalta la constante búsqueda de mejoras en la seguridad y eficiencia de las inspecciones eléctricas. Este proyecto aplicado en la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., se enfocaba en reemplazar métodos tradicionales costosos y peligrosos con un enfoque más seguro y económico.

Así mismo, la aplicación de la termografía en las líneas eléctricas de la S/E Crucita, destaca la efectividad de esta técnica en la detección de fallas en alimentadores de distribución de medio voltaje (13,8 kV) [10]. Facilitando el desarrollo de planes de mantenimiento predictivo eficaces y seguros, respaldando la continuidad del servicio eléctrico y demostraron que esta herramienta permitió a los operadores detectar problemas, casi sin riesgo de daños eléctricos o térmicos [11].

2.2 Subestaciones Eléctricas.

Una S/E abarca todos los equipos esenciales para el suministro, transporte y distribución de niveles de tensión apropiados en los sectores industrial, comercial y residencial, siendo una parte fundamental en el sistema de potencia y centrándose en la transformación de tensión, la transferencia de energía, la modificación de frecuencia y la conexión de más circuitos [12]. Estas infraestructuras constituyen un elemento crucial en la gestión y distribución eficiente de la energía



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



eléctrica, desempeñando funciones esenciales para garantizar un suministro eléctrico confiable y optimizado [11].

2.2.1 Termografía infrarroja en subestaciones eléctricas.

La implementación de la termografía infrarroja en subestaciones eléctricas se rige como una herramienta que garantiza la continuidad del servicio eléctrico, ya que su función es mejorar la disponibilidad de los equipos de la S/E y sus alimentadores, optimizando la gestión de recursos, fortaleciendo la capacidad del sistema eléctrico para minimizar el riesgo de accidentes e interrupciones inesperadas y garantizando un suministro eléctrico confiable y seguro[10][13]. Esta técnica se caracteriza por su naturaleza no intrusiva al posibilitar mediciones sin necesidad de contacto directo, evaluando la superficie de cuerpos o elementos en instalaciones empresariales, sin perturbar sus operaciones [12].

Además, al identificar anomalías en la temperatura en los componentes de una S/E, ya sea por sobrecalentamientos o niveles inusualmente bajos, resulta crucial al prevenir fallos inesperados, ya que, al dirigir la atención a los elementos críticos de la S/E, los técnicos pueden anticipar y abordar posibles problemas de interrupciones significativas [14].

2.2.2 Desarrollos en termografía con Drones.

Según [8] el avance constante en tecnologías de baterías, pilas de combustible, sensores y elementos de vehículos aéreos no tripulados han marcado mejoras significativas en la viabilidad de la inspección de líneas eléctricas mediante drones, y los desarrollos relacionados con la termografía aplicada mediante drones ha llevado a innovaciones significativas, especialmente en el ámbito de las redes de distribución eléctrica. Estas tecnologías han revolucionado la manera en que se lleva a cabo la inspección y monitoreo de infraestructuras críticas al incorporar cámaras térmicas a drones, logrando mejorar la eficacia y la precisión en la detección temprana de posibles problemas [9].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD

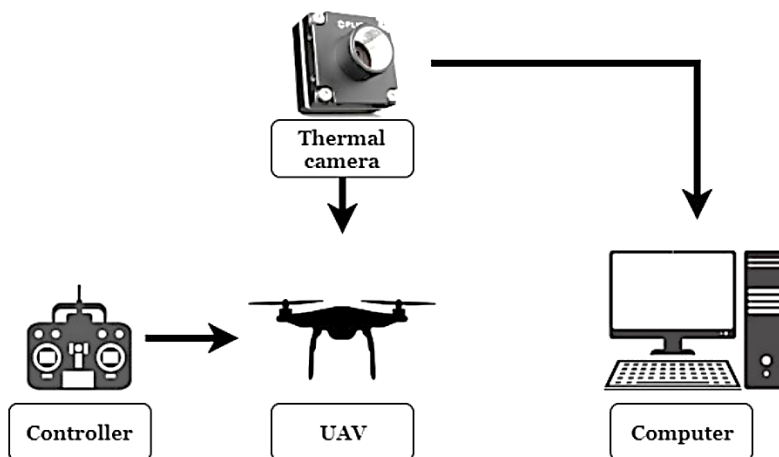


Figura 1 Sistema del dron con termografía. [15]

2.3 Tecnología Termográfica para Redes de Distribución Eléctrica.

La evaluación precisa de las condiciones térmicas en las redes de distribución eléctrica se vuelve esencial para garantizar su funcionamiento. De esta forma, la tecnología termográfica surge como un recurso que permite identificar y abordar posibles problemas en los equipos eléctricos antes de que afecten su rendimiento [4].

La eficiencia de las redes de distribución eléctrica se sustenta en la gestión adecuada de la energía térmica en los equipos eléctricos. Cuando la corriente eléctrica fluye a través de un componente resistivo, se genera calor, por ende, un incremento en la resistencia eléctrica conlleva a un aumento en la producción de calor y con el transcurso del tiempo el estado del componente eléctrico experimenta deterioro debido a diversas causas, como conexiones débiles, corrosión y fisuras en los aisladores [16]. Este incremento en la energía térmica no solo puede originar fallos en los equipos eléctricos como se observa en la figura 2, sino que también presenta la posibilidad de provocar riesgos de incendio [5]. La utilización de la termografía en la inspección de los equipos bajo condiciones de carga se presenta como una herramienta que facilita la identificación y clasificación de los componentes defectuosos de acuerdo con la gravedad de su condición.

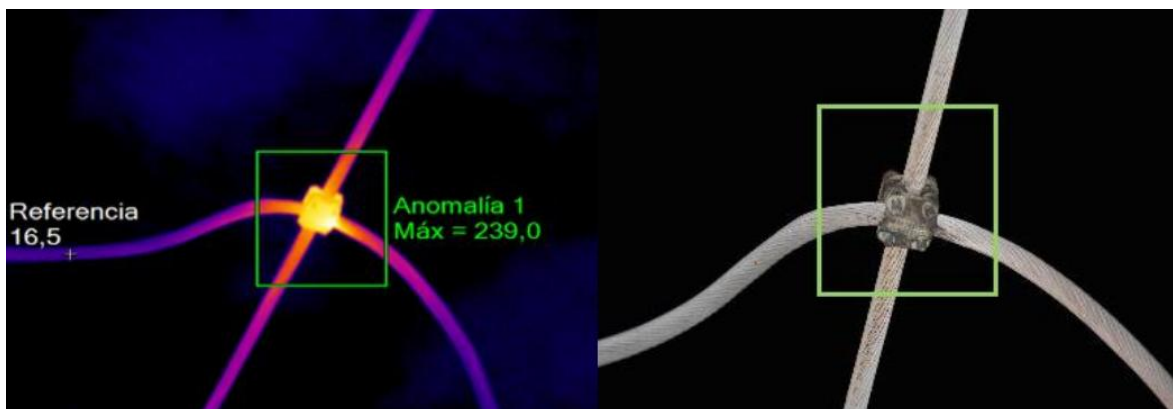


Figura 2 Imagen térmica y de campo con anomalía. [17]

2.3.1 Principios fundamentales de la termografía en redes de distribución eléctrica con drones.

Los principios fundamentales de la termografía en redes de distribución eléctrica con drones se sitúan en el entendimiento del sistema eléctrico encargado de transportar la energía desde las generadoras hasta los centros de subestaciones y, finalmente, a los usuarios [18]. La columna vertebral de esta red, denominada línea troncal, parte de la S/E y se ramifica a través de enlaces o derivaciones para distribuir eficientemente la energía a los usuarios [19]. Este enfoque es fundamental para comprender el funcionamiento y la gestión térmica de las redes de distribución eléctrica, especialmente al considerar la aplicación de la termografía con drones para mejorar su eficacia.

Históricamente, la revisión de estos tendidos, ubicados en terrenos variados y de difícil acceso, dependía en gran medida de vehículos terrestres y personal a pie, pero a partir de los avances tecnológicos actuales, esta práctica ha sido sustituida por dispositivos más compactos y económicos como VANT [20]. Estos drones no solo mejoran la seguridad del personal al evitar trabajos en alturas y proximidades de voltajes elevados, sino que también reducen el tiempo empleado en las inspecciones, facilitan la revisión en terrenos de difícil acceso y optimizan la recopilación de información crucial sobre las líneas eléctricas [21].



Es así como la termografía adquiere relevancia como una técnica que se basa en la evaluación de la superficie de componentes e instalaciones sin requerir interrupciones operativas, siendo una tecnología no intrusiva al permitir mediciones sin contacto directo [12]. Este enfoque no solo contribuye a la prevención de fallas, reducción de costos y mejora de la confiabilidad en el sistema, sino que, de manera crucial, se destaca por su capacidad para prevenir accidentes [22]. La fiabilidad de este sistema radica en su habilidad para detectar posibles daños futuros, proporcionando un valor sustancial al disminuir los riesgos de accidentes asociados a los mantenimientos [17].

Por esa razón las empresas distribuidoras tienen la responsabilidad de mantener en óptimas condiciones tanto sus redes de distribución primarias como secundarias, asegurando su pleno funcionamiento y reduciendo al mínimo el riesgo de interrupciones parciales o totales en el servicio público de energía eléctrica [23].

Tabla 1 ACCIONES SUGERIDAS EN FUNCIÓN DEL AUMENTO DE LA TEMPERATURA

Nivel	Diferencia de temperatura (ΔT) en comparaciones entre componentes similares bajo cargas similares	Diferencia de temperatura (ΔT) en comparaciones entre las temperaturas del componente y temperaturas del ambiente o su temperatura normal de funcionamiento	Acción recomendada
1	1°C-3°C	1°C-10°C	Posible deficiencia, se justifica en investigación.
2	4°C-15°C	11°C-20°C	Indica probable deficiencia, reparar cuando el tiempo lo permita.
3	>15°C	21°C-40°C	Vigilar hasta que las medidas correctivas se realicen.
4	>15°C	>40°C	Discrepancia importante, reparar inmediatamente.

Nota: Se establecen las acciones recomendadas en función de las ΔT entre temperatura comparativa y de funcionamiento. [21]



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



2.3.2 Factores que repercuten en el análisis termográfico de redes eléctricas con drones.

El análisis termográfico, una técnica de mantenimiento no invasiva que emplea cámaras infrarrojas para captar la radiación infrarroja y convertirla en temperatura, se centra en la obtención de termogramas para mostrar la distribución de temperatura en la superficie de objetos[21]. Esta técnica identifica componentes eléctricos y mecánicos que operan a temperaturas superiores a las normales, señalando posibles fallas inminentes [19].

En el proceso de inspección termográfica, es esencial tener en cuenta diversos factores que pueden impactar la precisión de los resultados obtenidos.

- a) **Factores procedimentales:** aquellos que son consecuencia de la inspección termográfica [7].
- b) **Factores técnicos:** son la emisividad de los elementos inspeccionados, la corriente que circula por el circuito, la distancia al elemento objetivo y las especificaciones de la cámara utilizada [7].
- c) **Factores ambientales:** son la temperatura ambiente, la lluvia, el viento y la radiación solar [7].

Entre otros factores que se deben considerar que afectan la precisión de la inspección son; la carga del sistema que debe estar funcionando al 40% o más de su carga máxima; los vientos deben tener precaución si superan las 10 mph (16 km/h); el equilibrio de carga entre las fases, ya que las temperaturas deberían ser similares, y cualquier disparidad debe investigarse; los cambios de temperatura, incluso mínimos, pueden indicar problemas graves, y se aconseja basar la respuesta en las consecuencias de la falla en lugar de priorizar automáticamente según la temperatura [19].

Según [23] las condiciones meteorológicas desfavorables pueden influir significativamente en las lecturas de temperatura. Se debe evitar realizar termografías en días con intensidad solar, ya que esto podría afectar la precisión de las mediciones debido a la concentración de energía solar en los elementos inspeccionados. Además, los flujos de aire causados por el viento pueden enfriar



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



la superficie de los materiales, reduciendo las diferencias de temperatura y afectando la efectividad de la termografía. Asimismo, después de lluvias recientes, la evaporación del agua puede enfriar la superficie de los materiales, generando patrones térmicos incorrectos.

2.3.3 Condiciones esenciales para la realización de la termografía en redes de distribución eléctrica con drones.

Es esencial considerar ciertas condiciones para llevar a cabo inspecciones efectivas. Al considerar aspectos ambientales y atmosféricos, es esencial tener en cuenta la velocidad del viento y la reflexión solar, ya que esta velocidad incrementa la transferencia de calor, disminuyendo la temperatura en puntos críticos y enmascarando problemas graves [1].

Estas inspecciones se realizan con la instalación energizada, enfocándose en los elementos de las redes de distribución de medio voltaje con un personal calificado, y es crucial que las condiciones ambientales sean favorables, evitando realizar acciones planificadas en condiciones adversas como viento, niebla, lluvia, granizo o tormenta [7].

El operador encargado de la termografía debe tener claramente identificados los elementos a inspeccionar de acuerdo con la planificación establecida [24]. Además, se destaca la importancia de tener en cuenta las variaciones en las condiciones de carga del circuito [25]. La condición más propicia para la detección de puntos calientes es cuando la corriente nominal circula por el elemento, correspondiente a la instalación trabajando a plena carga [19]. Sí no se toman en cuenta las condiciones propicias se puede llevar a no identificar adecuadamente los puntos críticos y a generar conclusiones incorrectas, por tal motivo, se deben cumplir requisitos mínimos para la correcta detección de puntos calientes donde:

- La corriente debe superar el 20% de su capacidad máxima.
- La medición debe hacerse al menos 15 minutos después de energizar.
- Cumplir con el apriete de las conexiones según las recomendaciones del fabricante.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



2.3.4 Implementación de termografía en el mantenimiento predictivo de redes distribución eléctrica con drones.

La implementación de la termografía en el mantenimiento predictivo de redes de distribución eléctrica con drones permite la detección de ondas infrarrojas mediante equipos fotográficos térmicos [17]. Estos dispositivos transforman la radiación térmica del cuerpo en una imagen visible para el ojo humano, representando visualmente la cantidad de calor en la superficie del objeto en estudio [26]. El mantenimiento, en este contexto, abarca un conjunto de actividades dirigidas a preservar y restaurar los activos de una empresa hasta un nivel económico, considerando el entorno operativo en el que se encuentran [27].

La implementación de la termografía en el mantenimiento con drones resulta crucial debido a la facilidad con la que puede aplicarse en un sistema en pleno funcionamiento, permitiéndonos una detección de fallas sin interrumpir el suministro de energía, posibilitando la programación de mantenimientos en momentos estratégicos [12].

A. Procedimiento de la termografía aérea

- Pre mapeo
- Mapeo
- Post mapeo

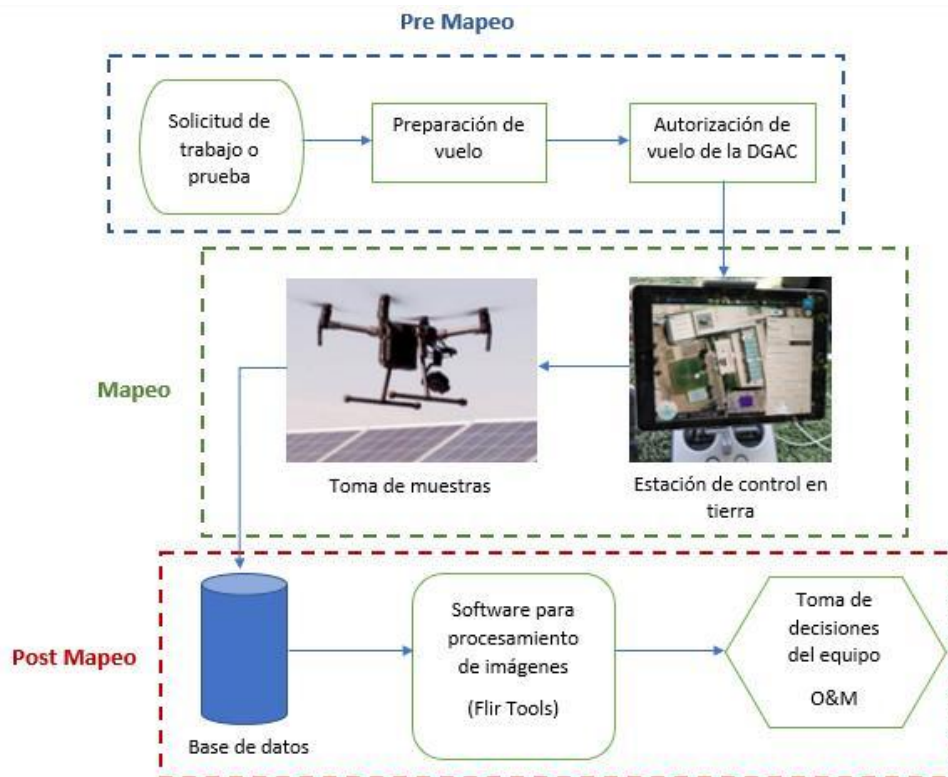


Figura 3 Esquema del proceso para realizar termografía aérea. [27]

B. Tipos de vehículos no tripulados.

- Ala fija

Este diseño incorpora dos alas ancladas al chasis, similar a las configuraciones de aeroplanos, y se propulsa por un solo motor que suministra la potencia de empuje [28].

- Multirrotorres: aquellos que cuentan con motores independientes ubicados en los extremos del chasis [28].

2.4 Utilización de Termografía Infrarroja en el Mantenimiento de Subestaciones.

La evaluación convencional de subestaciones implica revisiones periódicas por parte del personal de mantenimiento, una tarea que consume mucho tiempo y se ve limitada por la dificultad de detectar fallas en equipos de gran altura, poniendo en riesgo la seguridad de la S/E [29].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



La utilización de la termografía infrarroja en el mantenimiento de subestaciones constituye una estrategia integral para mejorar diversos aspectos, tales como funcionalidad, seguridad y productividad[30]. Estas acciones, que engloban mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos, buscan no solo optimizar costos operativos, sino también prevenir accidentes y prolongar la vida útil de los activos, contribuyendo así al buen funcionamiento y eficiencia de la infraestructura eléctrica [21].

La termografía infrarroja, al emplearse en el mantenimiento de subestaciones eléctricas, presenta tanto aspectos positivos como negativos, también la evaluación de su impacto varía según la perspectiva desde la cual se analice, y también está influenciada por la necesidad de llevar a cabo un diagnóstico efectivo y detallado de la S/E [12].

La integración de la termografía infrarroja en el mantenimiento de subestaciones eléctricas surge como un recurso seguro en las inspecciones predictivas [31]. Al capturar con precisión la temperatura de superficies y elementos, esta tecnología permite la identificación de componentes eléctricos y mecánicos sometidos a tensiones térmicas, revelando aquellos que han experimentado sobrecalentamiento durante su funcionamiento [12]. En una S/E de distribución, los elementos más propensos a sufrir alteraciones operativas pueden ser detectados a través de imágenes térmicas más comunes son:

- a) Seccionadores de 69 kV y 15 kV.
- b) Transformador de Potencia.
- c) Interruptores de Potencia.
- d) Equipos de reconexión.
- e) Punto de conexión.
- f) Cuchillas seccionadoras y de transferencia.
- g) Y otros elementos similares [12].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



2.4.1 Aplicaciones de termografía en el mantenimiento predictivo de equipos en subestaciones eléctricas.

La termografía desempeña un papel crucial en el ámbito del mantenimiento predictivo de equipos en subestaciones eléctricas. Antiguamente, las cámaras termográficas eran consideradas costosas, frágiles y difíciles de manipular, dificultando su adquisición. No obstante, en la actualidad, estas herramientas se han vuelto más accesibles, fáciles de utilizar y precisas [13]. La evolución tecnológica ha permitido la integración de cámaras termográficas con capacidades numéricas, facilitando la recopilación de datos, la comunicación global entre dispositivos y su transporte mediante drones [20]. A medida que avanzamos hacia el futuro, el desafío reside no solo en la obtención de datos, sino en la capacidad de procesarlos, transformándolos en información significativa para la toma de decisiones [26].

2.4.2 Criterios de análisis de temperatura en termografía para subestaciones eléctricas.

La evaluación del estado de los componentes se realiza mediante la captación de infrarrojos, permitiendo el monitoreo y diagnóstico. La interpretación de los datos recopilados se vincula a criterios estándares o generados a partir de un histórico. La referencia de temperatura se establece en función de condiciones operativas ideales en el pasado [32].

Los criterios de evaluación incluyen consideraciones sobre la temperatura proporcionada por el fabricante. Mediante un enfoque analítico, es factible la identificación de las causas de averías o mal funcionamiento del equipo por puntos débiles térmicos [33]. Por lo tanto, en el plan de mantenimiento correspondiente, resulta esencial configurar notificaciones, alarmas y puntos de identificación de fallos o posibles inconvenientes, dado que esta información constituye un recurso valioso [7].

La interpretación precisa de los datos termográficos requiere una atención especial a factores como la emisividad de las superficies, la carga operativa y las condiciones ambientales [19]. Establecer criterios de análisis específicos implica correlacionar las lecturas térmicas con estándares previamente definidos y las recomendaciones de los fabricantes [20]. Este enfoque



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



garantiza una evaluación coherente y objetiva, facilitando la detección temprana de posibles fallas y contribuyendo a la eficacia del mantenimiento predictivo.

La implementación de criterios de análisis de temperatura en termografía no solo se limita a la identificación de puntos calientes o anomalías térmicas, sino que también proporciona información necesaria para la toma de decisiones informadas [34]. Al adoptar estos criterios, las subestaciones eléctricas pueden mejorar significativamente su capacidad para anticipar y gestionar eficientemente las condiciones operativas, maximizando la confiabilidad de los sistemas eléctricos y prolongando la vida útil de los componentes críticos [20].

2.4.3 Integración de cámaras termográficas a drones en el mantenimiento predictivo de redes eléctricas.

La industria de redes eléctricas está progresivamente incorporando vehículos aéreos no tripulados debido a su movilidad elevada y perspectivas desde altitudes considerables, reduciendo significativamente la carga laboral del personal de mantenimiento [29].

La termografía emerge como una técnica estratégica de mantenimiento predictivo. Este enfoque implica la utilización de cámaras termográficas especializadas, capaces de capturar imágenes térmicas que revelan variaciones de temperatura en equipos eléctricos [35]. Dichas cámaras, adaptadas a drones, ofrecen una versatilidad única al permitir la inspección remota y detallada de componentes, sistemas y conexiones [32].

El mantenimiento predictivo, fundamentado en la termografía, se apoya en la emisividad de las superficies analizadas y en la capacidad de las cámaras para detectar radiación electromagnética [32]. La variedad de cámaras, desde modelos portátiles hasta sistemas de alta resolución con nuevas tecnologías, permite adaptarse a diferentes necesidades y escenarios de inspección.[20]. Este enfoque no solo permite visualizar temperaturas próximas al ambiente, sino también anticipar posibles fallos y planificar reemplazos de componentes justo antes de su deterioro.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



La implementación de drones equipados con cámaras termográficas especializadas revoluciona el paradigma del mantenimiento predictivo al posibilitar inspecciones eficientes y sin interrupciones en redes eléctricas [36]. Al prever posibles fallos y optimizar la planificación de reemplazos, se reduce el tiempo muerto de los equipos, se maximiza la vida útil de los componentes y se minimiza la necesidad de mantener grandes inventarios de repuestos[37].

2.4.4 Precisión en la medición de cámaras termográficas con dron.

La operación de una cámara termográfica se centra en capturar la intensidad de radiación en la región infrarroja del espectro electromagnético y transformarla en una representación visual [23]. Específicamente diseñada para enfocar la radiación infrarroja emitida por los objetos dentro de su campo de visión, la cámara térmica convierte la energía térmica en luz visible [34].

La obtención de imágenes infrarrojas requiere un enfoque preciso para garantizar la nitidez de las imágenes [38]. La calidad del enfoque resulta fundamental, ya que una imagen desenfocada comprometería la confiabilidad de las mediciones de temperatura realizadas. La precisión en la captura de imágenes termográficas, especialmente cuando se emplean drones, se convierte en un aspecto crucial para asegurar mediciones confiables y resultados exactos en el monitoreo y evaluación de la temperatura de superficies y componentes [39].

La identificación correcta de los objetos, así como la eliminación eficaz de los datos innecesarios de la entrada, como árboles, montañas, ríos, casas de césped o carreteras, es esencial para obtener resultados precisos [15].



Figura 4 Patrón de calor detectado por cámara termográfica. [40]



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



2.4.5 Causas de incremento térmico detectadas por cámaras termográficas.

Los incrementos térmicos capturados pueden atribuirse a diversas causas, como conexiones defectuosas, sobrecargas eléctricas, desgaste de componentes o incluso condiciones ambientales adversas. La capacidad de las cámaras termográficas para evidenciar estas variaciones de temperatura se convierte en un recurso valioso para el diagnóstico temprano de posibles fallos o irregularidades en sistemas eléctricos, mecánicos o estructurales [14].

En lo referente a las cámaras termográficas, se destaca que un factor crucial es su resolución. A mayor resolución, se logra una mayor cantidad de píxeles, permitiendo la identificación de detalles más pequeños en la imagen, conllevando a mediciones de temperatura más precisas [27]. Sin embargo, es necesario tener presente que este beneficio se acompaña de un aumento en el costo de la cámara, ya a mayor resolución el precio será elevado.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD

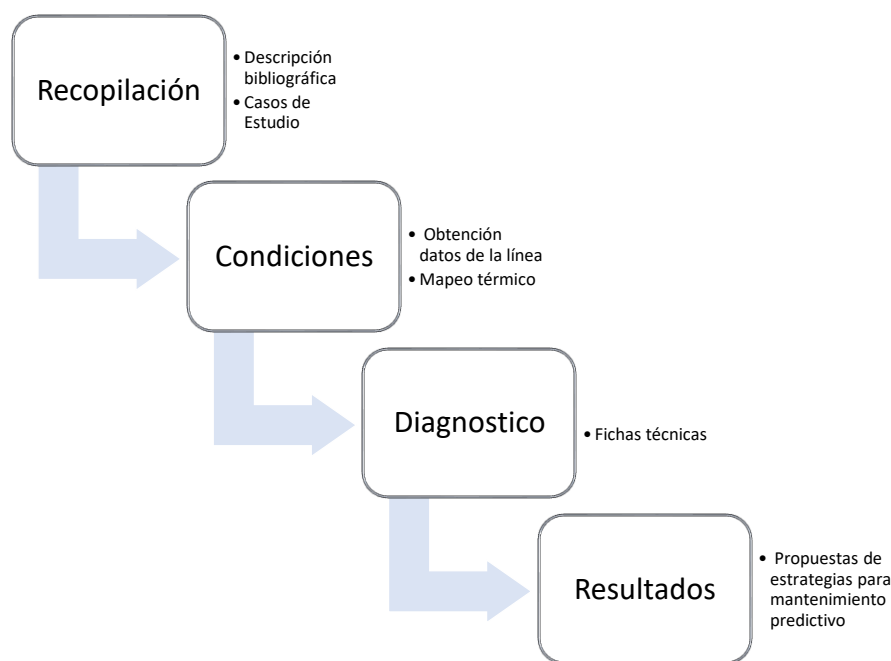


CAPITULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se presenta el enfoque que tendrá la investigación, así como las metodologías, materiales, métodos a utilizar y descripción del lugar. Estos serán empleados para determinar el procedimiento mediante el cual se realizará el mapeo térmico para el mantenimiento predictivo aplicado en el K3 de la S/E La Carolina.

El proceso de la investigación está descrito en el siguiente gráfico, el cual representa las distintas partes y acciones del trabajo de investigación.



***Figura 5** Proceso de Investigación respecto al tema de tesis.*

Como se describió en el anterior capítulo el mapeo térmico nos permite obtener imágenes térmicas de las condiciones de los componentes eléctricos de una manera más rápida y sin la necesidad de interrumpir el servicio eléctrico. A partir de eso se determina cómo cada material y



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



método contribuye a la obtención de información necesaria que será útil para diagnosticar el estado de las líneas de distribución.

3.1 Delimitación del lugar de investigación

La S/E La Carolina perteneciente al área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional Norte S.A. se clasifica como una S/E reductora, la cual se encuentra ubicada en La parroquia La Carolina en el área rural del cantón Ibarra en el sector de la comunidad Guallupe en la provincia de Imbabura.



Figura 6 Subestación eléctrica La Carolina fotografiada con dron

Esta S/E maneja un voltaje de 69kV a 13.8kV donde esta se alimenta de la línea Chota de 69kV y los alimentadores inician en una barra de 13.8kV. Los cuatro circuitos que cuentan tienen una nomenclatura que es "K" teniendo así:

- Alimentador K1
- Alimentador K2
- Alimentador K3
- Alimentador K4



De los alimentadores que la conforman la S/E solamente el K1 no opera y los tres siguientes finalizan en sectores como Buenos Aires, Lita y Chical respectivamente.



Figura 7 S/E Carolina tomada del GeoPortal de EmelNorte.

3.1.1 Ruta de Mapeo térmico del K3

Con el objetivo de monitorear el estado del circuito del alimentador K3, se establece una ruta de inspección para la realización de mapeo térmico, orientada al mantenimiento predictivo. Esta ruta comienza desde la S/E en donde empieza el circuito del alimentador K3 y se extiende a lo largo de varios elementos.

El análisis térmico mediante dron empieza con la inspección del circuito en donde algunos de sus componentes son:

- Aisladores
- Puentes aéreos
- Portafusibles de MV
- Transformadores
- Bushin
- Pararrayos
- Conectores



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



Figura 8 Se muestra el inicio del circuito K3 en la subestación eléctrica La Carolina

En la figura 8 se muestra el inicio del circuito K3 de la subestación eléctrica La Carolina. Esta estructura fue la primera en ser evaluada durante el mapeo térmico mediante el uso de un dron como se lo señala.

3.2 Enfoque y tipo de investigación

La investigación aplicada se centra en la utilización práctica de conocimientos científicos y técnicos para abordar problemas específicos en contextos concretos. Por esta razón, se determina el tipo de investigación que se plantea y su enfoque.

3.2.1 Enfoque

El trabajo de grado tiene un enfoque cuantitativo que se centra en la recopilación y análisis de datos térmicos obtenidos a través de las imágenes térmicas tomadas por el dron y la cámara termográfica. Esta metodología cuantitativa en el enfoque de la investigación indica que se permite medir las variaciones de temperatura en los componentes del circuito K3 de la S/E La Carolina.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



Además, la cuantificación de datos térmicos obtenidos mediante el mapeo térmico permite indicar las condiciones normales y anómalas, lo cual permite proponer estrategias para un mantenimiento predictivo, prevenir interrupciones inesperadas.

3.2.2 Investigación

La investigación se orienta hacia un enfoque aplicado, utilizando conocimientos teóricos y técnicos para abordar problemas específicos, como la interrupción o cortes de energía producidos por puntos calientes en el circuito K3 de la S/E La Carolina mediante el mapeo térmico. Esta metodología no solo contribuye a mejorar la eficiencia operativa, sino que también permite una gestión más efectiva de los recursos.

Paralelamente, se lleva a cabo una investigación descriptiva que se centra en el análisis mediante termografía del circuito K3. Este análisis implica la identificación de variaciones de temperatura y la detección de posibles fallos, lo cual se realiza a través de la recolección sistemática de información relevante.

Finalmente, la investigación de campo se enfoca en la recopilación de datos directamente en el entorno operativo. Esto se logra mediante vuelos de vehículos aéreos no tripulados (VANT), que permiten captar imágenes térmicas de los puntos calientes del sistema. Este enfoque contribuyendo así a la prevención de fallos y a la mejora continua del servicio.

3.3 Materiales, equipos y software

Para llevar a cabo la investigación, es fundamental disponer de diversos equipos que facilitarán la obtención de la información necesaria para el mantenimiento predictivo en el circuito K3 de la subestación La Carolina. En función de este requerimiento, a continuación, se presentan tablas detalladas que incluyen las características técnicas de los equipos a utilizar, lo que permitirá garantizar la eficacia y precisión en la recolección de datos.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



3.3.1 DJI ZENMUSE H20T

El DJI Zenmuse H20T es un sistema multifuncional que incluye una cámara termográfica, una cámara visual y un telémetro láser [41]. En esta tesis, se utilizará el Zenmuse H20T montado en el dron Matrice 300 RTK para capturar imágenes térmicas del circuito K3 de la S/E La Carolina. Esta herramienta permite identificar diferencias de temperatura en tiempo real, facilitando la detección de posibles puntos calientes en los componentes del circuito.



Figura 9 Imagen de cámara DJI Zenmuse H20T. [41]

Tabla 2 FICHA TÉCNICA DE DJI ZENMUSE H20T.

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
Temperatura de funcionamiento	De -20 a 50 °C (cuando la temperatura se encuentra entre -10 y 50 °C)
Temperatura de almacenamiento	De -20 a 60 °C
Seguridad del láser	Clase 1M (IEC 60825-1:2014)
Estabilizador	
Intervalo de vibración angular	$\pm 0.01^\circ$
Intervalo controlable	Inclinación: -120 a 30° Guiñada: $\pm 320^\circ$
Rango mecánico	Inclinación: -132.5 a 42.5° Guiñada: $\pm 330^\circ$ Rotación: de -90 a 60°
Cámara con zoom	
Cámara con zoom	CMOS $1/2.7''$, 20 MP



Objetivo	DFOV: 66.6-4° Distancia focal: 6.83-119.94 mm (equivalente a 31.7-556.2 mm) Apertura: f/2.8-f/11 (normal), f/1.6-f/11 (escena nocturna) Enfoque: 1 m hasta ∞ (panorámico), 8 m hasta ∞ (zoom)
Velocidad del obturador electrónico	1~1/8000 s
Rango ISO	Video: 100-25600 Foto: 100-25600
Resolución de vídeo	3840×2160 a 30 fps, 1920×1080 a 30 fps
Cámara térmica	
Sensor	Microbolómetro VOx no refrigerado
Objetivo	DFOV : 40.6° Distancia focal: 13.5 mm (equivalente a 58 mm) Apertura: f/1.0 Enfoque: 5 m a ∞
Distancia entre píxeles	12 μ m
Sensibilidad (netd)	≤ 50 mK a f/1.0
Rango de escena	De -40 a 150 °C (alta ganancia) De -40 a 550 °C (baja ganancia)
Alerta de temperatura	Disponible
Telémetro láser	
Rango de medición	3-1200 m (a una superficie vertical con un diámetro de ≥ 12 m y una tasa de reflexión de 20 %)
Precisión de medición	$\pm (0.2 \text{ m} + D \times 0.15 \%)$ D es la distancia a una superficie vertical

Nota: Se describe las características técnicas de la cámara térmica DJI Zenmuse H20T. [41]

3.3.2 Matrice 300 RTK

El Matrice 300 RTK es un dron industrial que ofrece una combinación de rendimiento y precisión para el mapeo térmico. Equipado con el sistema de carga útil DJI Zenmuse H20T, el Matrice 300 RTK se utilizó para realizar vuelos de inspección sobre el circuito K3. Gracias a su capacidad de vuelo estable, resistencia a condiciones adversas y precisión de posicionamiento RTK, este dron proporciona confiabilidad para la captura de datos térmicos y visuales [42].



Figura 10 Imagen de Matrice 300 RTK. [42]

Tabla 3 FICHA TÉCNICA DE MATRICE 300 RTK.

Descripción	Características
Dimensiones	Desplegado, hélices excluidas, 810×670×430 mm (L×W×H) Plegado, hélices incluidas, 430×420×430 mm (largo×ancho×alto)
Precisión de desplazamiento (modo p con GPS)	Vertical: ○ ±0,1 m (sistema de visión habilitado) ○ ±0,5 m (GPS habilitado) ○ ±0,1 m (RTK habilitado) Horizontal: ○ ±0.3 m (sistema de visión habilitado) ○ ±1.5 m (GPS habilitado) ○ ±0.1 m (RTK habilitado)
Precisión de posicionamiento RTK	Cuando RTK está habilitado y arreglado: 1cm+1ppm (Horizontal) 1,5 cm + 1 ppm (Vertical)
Velocidad angular máxima	Inclinación: 300°/s, Guiñada: 100°/s Ángulo de paso máximo 30° (modo P, sistema de visión delantera habilitado: 25°)
Ángulo de paso máximo	30° (modo P, sistema de visión delantera habilitado: 25°)
Velocidad máxima de ascenso	○ Modo S: 6 m/s ○ Modo P: 5 m/s
Velocidad máxima de descenso (vertical)	○ Modo S: 5 m/s ○ Modo P: 4 m/s



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD



Velocidad máxima de descenso (inclinación)	○ Modo S: 7 m/s ○ Máxima velocidad ○ Modo S: 23 m/s ○ Modo P: 17 m/s
Resistencia máxima al viento	12m/s
Tiempo máximo de vuelo	55 minutos
Operating temperature	-20°C to 50°C (-4°F to 122°F)
Distancia máxima de transmisión (sin obstáculos, libre de interferencias)	NCC/FCC: 15 kilómetros CE/MIC: 8 kilómetros SRRC: 8 km
Batería externa	Batería inteligente WB37 Voltaje: 7,6 V Energía: 37,39Wh
Batería integrada	Batería de iones de litio 18650 (5000 mAh a 7,2 V) Carga: Cargador USB con especificación de 12V / 2A Potencia nominal: 17W
Duración de la batería	Batería incorporada: Aprox. 2,5h Batería incorporada+batería externa: Aprox. 4,5h
Temperatura de funcionamiento	-20 °C a 40 °C (-4 °F a 104 °F)
Sistema de visión	Rango de detección de obstáculos ○ Adelante/atrás/izquierda/derecha: 0,7-40 m ○ Hacia arriba/abajo: 0,6-30 m Campo de visión ○ Adelante/atrás/abajo: 65° (H), 50° (V) ○ Izquierda/Derecha/Arriba: 75°(H), 60°(V) ○ Entorno operativo: Superficies con patrones claros e iluminación adecuada (15 lux)
Sistema de detección de tof por infrarrojos	Rango de detección de obstáculos:0,1-8m Campo de visión: 30° (±15°) Entorno operativo: Obstáculos grandes, difusos y reflectantes (reflectividad 10%)

Nota: Se describe las características técnicas del dron utilizado para el mapeo Matrice 300 RTK. [42]

3.3.3 Cámara termográfica industrial Fluke Ti32

La cámara termográfica industrial Fluke Ti32 es una herramienta portátil que será empleada para validaciones adicionales en el campo. Similar a la TiX580, la Ti32 se la utiliza para



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



una inspección más cercana a los puntos críticos. Esta facilita la evaluación de las condiciones térmicas, asegurando que cualquier anomalía térmica sea identificada adecuadamente.



Figura 11 Cámara termográfica industrial Fluke Ti32. [43]

Tabla 4 FICHA TÉCNICA DE CÁMARA
 TERMOGRÁFICA INDUSTRIAL FLUKE Ti32.

Descripción	CARACTERÍSTICAS
Rango de medida de la temperatura (sin calibrar por debajo de -10 °C)	-20 °C a +600 °C (-4 °F a +1112 °F)
Precisión de la medida de temperatura	Precisión de la medida de temperatura
Sensibilidad térmica (NETD)	$\leq 0,045$ °C (45 mK)
Total, de píxeles	76.800
Banda espectral infrarroja	7,5 μ m a 14 μ m (onda larga)
Cámara de luz visible	Rendimiento industrial de 2 megapíxeles



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



Lente infrarroja estándar	Campo de visión: 23° x 17° Resolución espacial (IFOV): 1,25 mRad Distancia focal mínima: 15 cm (aprox. 6 pulg.)
> Lente infrarroja tipo teleobjetivo opcional	Campo de visión: 11,5° x 8,7° Resolución espacial (IFOV): 0,63 mRad Distancia focal mínima: 45 cm (aprox. 18 pulg.)
Temperatura de trabajo	De -10 °C a +50 °C (de 14 °F a 122 °F)
Temperatura de almacenamiento	-20 °C a +50 °C (-4 °F a 122 °F) sin baterías
Humedad relativa	10% a 95% sin condensación
Normativas de seguridad	IEC 61010-1: sin categoría, grado de contaminación

Nota: Se describe las características técnicas de la Cámara termográfica industrial Fluke Ti3. [43]

3.4 Métodos, técnicas e instrumentos

En el presente estudio se establecen los métodos, técnicas e instrumentos necesarios para la adquisición de datos utilizados en el análisis térmico mediante mapeo termográfico.

En este caso de estudio, se empleó un enfoque cuantitativo que permite la recolección y análisis de datos numéricos, con el objetivo de evaluar el comportamiento térmico del circuito K3 de la subestación La Carolina. Este método es fundamental para cuantificar las lecturas de temperatura capturadas por las cámaras térmicas, lo que resulta crucial para identificar umbrales de temperatura que podrían indicar la presencia de anomalías en los componentes eléctricos.

3.4.1 Método

Se consideró un método experimental que toma en cuenta diversas características y condiciones antes del vuelo del dron. Esta preparación asegura que las lecturas térmicas no sean alteradas por condiciones ambientales adversas, garantizando así la precisión de los datos recopilados. La atención a estos detalles es esencial para obtener mediciones confiables sobre el estado térmico del circuito K3.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



La integración de estos métodos permite una comprensión profunda del comportamiento térmico del K3 de la S/E La Carolina. A través del análisis cuantitativo de los datos y la implementación de un enfoque experimental, se pueden identificar anomalías térmicas que podrían señalar posibles fallos en los componentes eléctricos. Esto establece una base sólida para la propuesta de estrategias de mantenimiento predictivo que mejoren la confiabilidad y eficiencia del sistema eléctrico.

3.4.2 Técnica

Para la obtención de los datos térmicos, se utilizó la técnica de termografía con dron, que permite el monitoreo sin contacto físico con los componentes eléctricos. En el mapeo térmico del K3, se emplearon equipos como un dron equipado con cámara termográfica, lo que facilitó la cobertura completa del área sin necesidad de acceso directo. Esta técnica permitió la detección y registro de puntos calientes y anomalías térmicas de manera rápida y precisa, optimizando así la evaluación del estado del sistema y la planificación del mantenimiento predictivo.

3.5 Protocolos de seguridad y permisos

Medidas tomadas para operar el dron en áreas energizadas se tomó como referencia las establecidas en la Resolución Nro. ARCONEL - 018/18 denominada “Distancias excepcionales para franjas de servidumbre”. En el caso de una línea de distribución con un voltaje de 13.8 kV, se estableció que el ancho de la franja de servidumbre debe oscilar entre 6m y 12 m.

3.5.1 Parámetros en el análisis de temperatura

En el contexto del análisis de imágenes térmicas, se consideran diversos parámetros que influyen en la decisión y ejecución del proceso. Uno de los aspectos más relevantes es el nivel de criticidad, el cual se establece a partir de las diferencias de temperatura entre los componentes evaluados y la temperatura ambiente. Si la temperatura del componente analizado supera su umbral permitido, es necesario clasificar dicha anomalía y determinar una acción correctiva adecuada en función de su nivel de criticidad. A continuación, se presenta una tabla que resume estos criterios.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



Tabla 5 CLASIFICACIÓN DE CRITICIDAD DE FALLAS ELÉCTRICAS

INTERNATIONAL ELECTRICAL TESTING ASSOCIATION (NETA)

Nivel	Diferencia de temperatura.	Clasificación	Acción
1	1°C-10°C O/A o 1°C a 3°C O/S	BAJA	En observación o puede esperar
2	11°C-20°C O/A y 4°C a 15°C O/S	MEDIA	Realizar mantenimiento en la próxima parada disponible
3	21°C-40°C O/A y >15°C O/S	ALTA	Reparar tan pronto como sea posible
4	>40°C O/A o >15°C O/S	CRITICA	Reparar inmediatamente

Nota: Se presenta los niveles de criticidad y las acciones pertinentes para cada rango.

Donde:

O/A: por encima de la temperatura ambiente

O/S: por encima de la temperatura de un punto similar

3.5.2 Condiciones del mapeo térmico

El mapeo térmico mediante el dron en el K3 se realizó en julio de 2024, considerando las horas de mayor demanda eléctrica. Se establecieron dos periodos: entre las 12:00 y 14:00 horas, cuando el consumo comercial es más alto, y entre las 18:00 y 20:00 horas, correspondientes a la demanda pico residencial. Con base en estos criterios, se definieron los siguientes parámetros operativos para la inspección térmica con dron:

Tabla 6 PARÁMETROS Y VALORES DURANTE EL MAPEO TÉRMICO EN K3

Parámetros	Descripción	Valor
Emisividad	Capacidad de emisión de radiación térmica de los materiales inspeccionados.	93%
Temperatura ambiente	Temperatura del entorno durante la inspección.	17 °C a 23.5 °C
Humedad relativa	Influencia de la humedad en la transmisión térmica.	43%
Velocidad del viento	Influencia en la disipación térmica.	5km/h

Nota: Valores de parámetros predeterminados en el vuelo del dron en el K3 durante el mantenimiento predictivo por parte de EMELNORTE.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



3.5.3 Condiciones y de vuelo

Al establecer la zona del punto de partida para el análisis de mapeo térmico, se siguen una serie de reglas que garantizan un vuelo seguro del dron Matrice 300 RTK durante su despegue y aterrizaje. En primer lugar, el operador o termógrafo debe seleccionar un área plana, amplia y libre de obstrucciones para evitar interferencias externas en el punto de partida. Simultáneamente, el operador de transporte debe asegurar la seguridad del área de vuelo, garantizando que el dron pueda operar sin la presencia de aves. En caso de avistamientos cercanos al dron cuando este ya esté en vuelo, se suspende el vuelo y se procede a regresar al punto de partida.

3.5.4 Condiciones externas

En este caso, se consideraron en cuenta las condiciones ambientales antes de la ejecución del vuelo e inspección del K3 mediante termografía, debido a que esta zona presenta un clima subtropical húmedo. Por esta razón, se priorizó la protección de la integridad de los componentes, tomando en cuenta la protección de ingreso (IP) de los mismos como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7
 CONDICIONES DE IP PARA EQUIPO EL MAPEO
 TÉRMICO Y SU IP.

Equipos	Protección de ingreso
DJI Zenmuse H20T	Ip 44
Matrice 300 RTK	Ip 45
Fluke Ti32	Ip 54

Nota: Se presentan el grado de protección de ingreso de los equipos contra el polvo y agua.

En esta situación si las condiciones climáticas no cumplen las condiciones de protección de los equipos no se ejecuta el vuelo. De igual manera las condiciones de humedad no darían una lectura clara de las imágenes térmicas, por lo que camuflaría los resultados reales.



3.6 Equipo técnico para mapeo térmico

El equipo técnico para el mapeo térmico como se muestra en la tabla 8 se determinó un mínimo de dos personas para la ejecución del vuelo: un termógrafo operador del dron y operador de transporte de equipo.

Tabla 8
EQUIPO DE TRABAJO Y FUNCIONES
EN EL K3

Personal	Funciones	Acciones
Operador/ Termógrafo	Controlar, Operar, Detectar e Interpretar.	Navegación, capturar imágenes térmicas, reconocer puntos calientes, identificar fallas térmicas, procesamiento termogramas y evaluar las imágenes
Operador de transporte	Desplazamiento de equipo técnico	Coordinación de transporte, Verificación logística, apoyo a operador de dron y termógrafo y cumplimiento de EPP.

Nota: La tabla presenta las acciones y funciones que toma el equipo de trabajo en el mapeo térmico.

El Operador/ Termógrafo en la inspección del K3 fue el responsable técnico de dirigir el vuelo del dron, garantizando la correcta ejecución de la inspección y la detección precisa de anomalías térmicas en las estructuras. Además, supervisó el equipo de termografía, asegurando que los parámetros de captura fueran adecuados. Durante la evaluación de las imágenes térmicas, desempeñó el papel de analista, identificando los puntos calientes y terminando la criticidad de las anomalías térmicas en los componentes inspeccionados, lo cual permitió establecer la prioridad para el mantenimiento preventivo.

El Operador de transporte es el encargado de coordinar el desplazamiento del equipo técnico hacia la zona de trabajo, asegurando el transporte de los equipos de termografía y facilitando el acceso a la zona de vuelo. Además, asiste en la vigilancia del dron en el aire, supervisando su trayectoria y condiciones operativas para garantizar un vuelo seguro.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



3.7 Procedimiento de mapeo térmico en el circuito K3 mediante el dron Matrice 300 RTK

La termografía constituye una técnica de inspección visual no invasiva que permite el monitoreo de equipos conectados a la red eléctrica sin requerir desconexiones, porque mediante el uso de cámaras térmicas, se captan las emisiones de calor de los componentes del sistema K3, lo que optimiza los costos y tiempos de mantenimiento.

El análisis presentado en la figura 12, toma las acciones y procedimientos para la ejecución de una metodología predispuesto por EMELNORTE, para mantenimiento predictivo basada en mapeo térmico en el circuito K3.

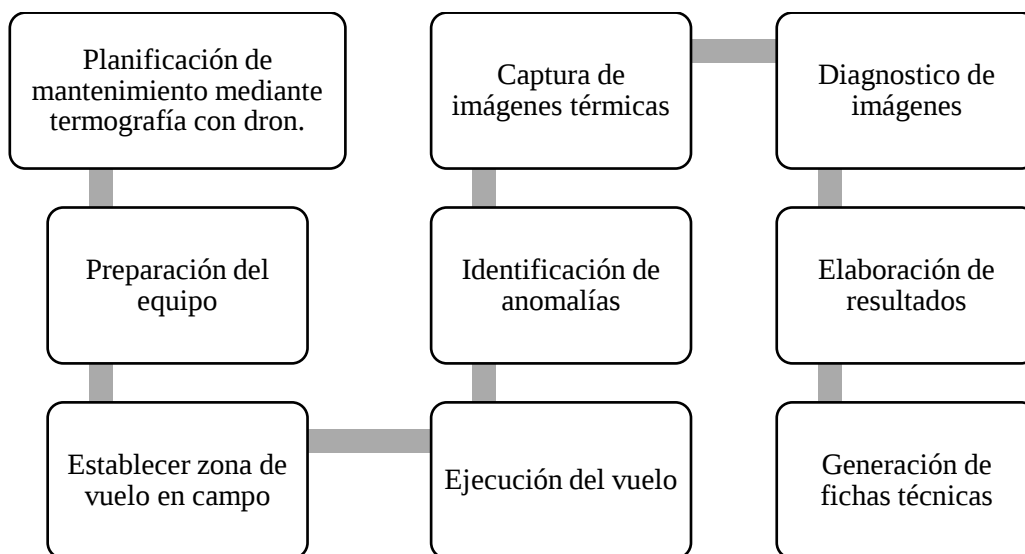


Figura 12 Procedimiento y Análisis de Datos de Termografía con Dron

Es importante destacar que la zona de inspección se encuentra en un área rural, donde la línea de distribución de la subestación que se analiza presenta limitaciones de acceso. Esta particularidad resalta la necesidad de implementar técnicas como el mapeo térmico que permitan realizar evaluaciones a pesar de las dificultades logísticas asociadas al entorno.

Una vez establecida la planificación de vuelo, se verifica el punto de partida. Posteriormente, se configuran parámetros técnicos presentados en la tabla 6, tales como la



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



emisividad y la humedad, entre otros, que son fundamentales para la detección y caracterización de posibles anomalías térmicas.

Una vez dispuestos estos parámetros, se procede a la captura de imágenes térmicas, asegurando calidad y precisión de datos obtenidos.

Para iniciar el mantenimiento térmico mediante dron, se implementa un conjunto de actividades técnicas destinadas a asegurar el uso adecuado del equipo y preservar su integridad operativa y física. Estas actividades comprenden la verificación de parámetros operativos, la comprobación del estado de los dispositivos, y la evaluación de las condiciones ambientales previas al despegue.

Se inicia con la planificación del vuelo, donde se define el área de inspección, en este caso, la S/E La Carolina. En esta etapa, se establecen la ruta de vuelo, las condiciones ambientales a considerar y la configuración del equipo de trabajo, asegurando que todos los parámetros operativos sean adecuados para la captura de imágenes térmicas.

Se prepara del equipo de trabajo antes de empezar el viaje, a partir de la verificación de las baterías cargadas de los equipos, verificación de equipos de dron y verificación del correcto funcionamiento de los equipos como se muestra en la figura 13.



Figura 13 Se muestra la verificación de equipos como el mando, baterías, cámara y dron respectivamente.



En la figura 14 se delimita la zona de vuelo al inicio del circuito K3 o al área de trabajo, designándose como punto de partida para la ejecución del vuelo del dron. Dicho lugar deberá encontrarse despejado y ser apto para el aterrizaje; posteriormente, tras la verificación de los parámetros establecidos, se procede a efectuar el vuelo del dron.



Figura 14 Zona de inicio de partida y despegue

Se realiza la identificación de anomalías o puntos calientes en el circuito K3 y se ejecuta la captura de imágenes las cuales se evalúan para verificar la zona afectada con aumento de temperatura como en la figura 15.



Figura 15 Evaluación en el primer punto de inicio del circuito K3[Foto campo - Foto térmica]



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



Una vez finalizada la identificación de los puntos calientes, se procede a asignar un grado de criticidad como se muestra en la tabla 5, mediante el cual se determina el plazo en el que debe ejecutarse el mantenimiento correctivo respectivo.

El cumplimiento de los pasos y la ejecución oportuna del mantenimiento correctivo permiten prevenir la degradación o deterioro progresivo del equipo y evita problemas de mayor envergadura, como interrupciones en el suministro energético, tiempos de inactividad prolongados y aumentos en los costos de mantenimiento y pérdidas operativas.

3.8 Resultados obtenidos del análisis de mapeo térmico de la línea de distribución del circuito K3

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del análisis de mapeo térmico realizado mediante drones en el circuito K3. Este enfoque permite una evaluación su estado con datos en tiempo real.

Los datos recopilados indican que el número de puntos calientes detectados es ínfimo, lo que sugiere un buen desempeño de los componentes eléctricos, sin embargo, no se exentan de que no se presenten aumentos de temperatura en los componentes del circuito K3.

3.8.1 Descripción de un Punto crítico del circuito K3

En esta sección se presenta un análisis detallado de un punto crítico identificado en el circuito K3, específicamente en la estructura 3F Semicentrada Doble Retención de 13 kV. Se incluye imagen térmica y de campo que ilustran la situación actual de este punto, así como un análisis térmico que evalúa su nivel de criticidad.

La anomalía detectada ha sido clasificada como Crítica de Grado 4, lo que indica un riesgo significativo para la operatividad del circuito. Este análisis es fundamental para entender las implicaciones de la anomalía y para desarrollar estrategias de intervención adecuadas que garanticen la seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD



Anomalía Crítica de Grado 4: Estructura 3F Semicentrada Doble Retención 13 kV

IDENTIFICACIÓN

Instalación	Ubicación	Código Poste Nro.	Componente Con Defecto	Descripción
línea de Distribución	Sector Cachaco en la curva circuito No.3 la carolina	121968 o K3P775	Pararrayo	Diferencia de temperatura en pararrayo del transformador publico circuito N° 3

Imagen Térmica

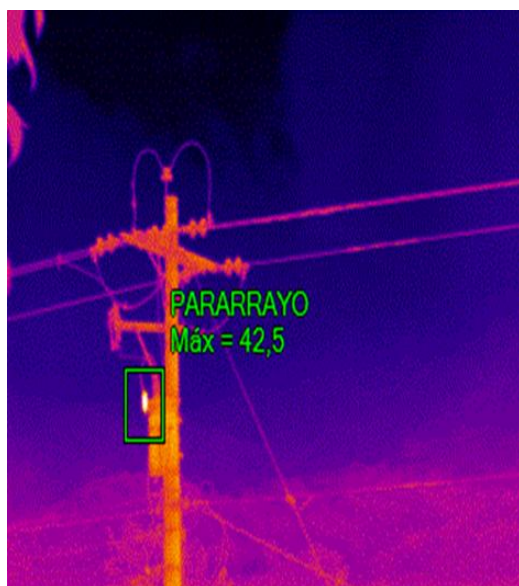


Imagen De Campo



T. Ref. °C	10°C
T. Max. °C	42,5°C
T. Amb. °C	17°C
Delta T °C	30,5°C

Emisividad	93%
Humeda Relativa %	48%

Mediante el mapeo térmico, se identificó una diferencia de temperatura en la estructura de medio voltaje específicamente en un pararrayos, evidenciando un punto caliente. La evaluación termográfica arrojó una temperatura máxima de 42.5 °C, la cual, al compararse con la temperatura de referencia de 10 °C, resultó en un delta de 30.5 °C. Según la Tabla 5, este diferencial térmico



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



clasifica la anomalía en un estado crítico de nivel 4, lo que indica la necesidad de un mantenimiento correctivo inmediato.

3.8.2 Resultados obtenidos de los puntos calientes presentes en el circuito K3

Al finalizar la inspección térmica mediante dron en la red de medio voltaje, se obtuvieron resultados que permitieron identificar posibles anomalías térmicas en los equipos, las cuales, de no ser atendidas, podrían reducir su vida útil, costos económicos y tiempo.

Tabla 9 ANÁLISIS DEL MAPEO TÉRMICO EN EL K3

Nivel	Clasificación	Nº Puntos Calientes	Acción
0	Nulo	960	Estado Normal
1	Bajo	0	Observación o puede esperar
2	Medio	1	Realizar mantenimiento en la próxima parada disponible
3	Alto	2	Programar tan pronto sea posible
4	Crítica	4	Reparar inmediatamente

Nota: Se detalla los resultados del mapeo y cuál es la acción requerida a partir del mantenimiento predictivo.

El circuito K3 inspeccionado abarcó una distancia de 120414m y comprendió un total de **966** postes, en las cuales se detectaron seis puntos con anomalías térmicas como se muestra en la tabla 9. Estos incrementos de temperatura determinaron que requieren mantenimiento correctivo antes de que se agraven. Es así como la implementación del mapeo térmico mediante VANT facilitó el acceso a la zona de estudio, mejorando el proceso de inspección y permitiendo la aplicación de estrategias de mantenimiento predictivo.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



3.9 Análisis de componentes que presentaron puntos calientes en el circuito K3

En esta sección se hace el análisis de los componentes que presentaron puntos calientes en el circuito K3 respecto a las características prescritas en la Homologación de las Unidades de Propiedad (UP) establecidos por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

3.9.1 Conector de aleación de Al, con compresión tipo "H" en el poste 121270

Según las especificaciones del fabricante, el conector tipo "H" opera en condiciones óptimas a una temperatura de 20°C, sin afectar su vida útil. Asimismo, soporta una corriente de 200 A sin generar sobrecalentamiento.

En la estructura 121270 o 3F Centrada Doble Retención a 13 kV, se registró una temperatura máxima de 31.3°C en el conector tipo "H", evidenciando un sobrecalentamiento. Este incremento térmico, equivalente a un 56.55% por encima de su temperatura nominal, sugiere la presencia de un punto caliente, posiblemente originado por un falso contacto o una sujeción excesiva.

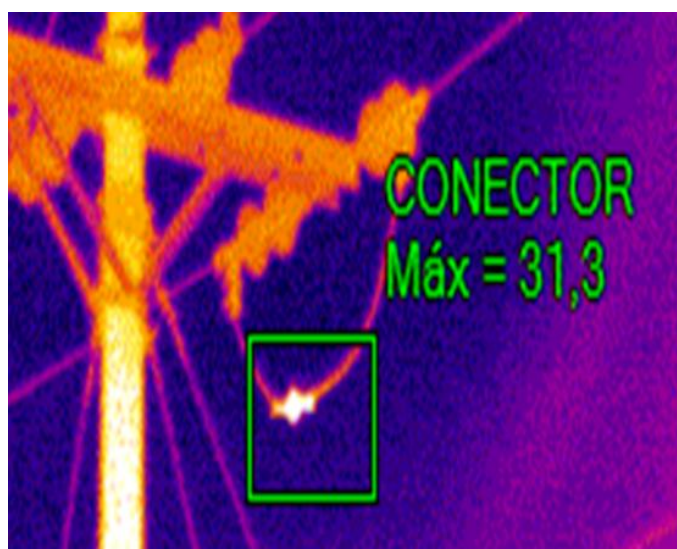


Figura 16 Punto caliente en el Conector 121270 con temperatura de 31.3°C



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



3.9.2 Conector de aleación de Al, con compresión tipo "H" en el poste 121308

En la estructura 121308 o 3F Centrada Doble Retención Angular a 13 kV, se registró una temperatura máxima de 37.7°C en el conector tipo "H", donde se evidencia la presencia de un excedente de temperatura. Este incremento térmico, equivalente a un 88.5% por encima de su temperatura nominal, lo que sugiere la presencia de un punto caliente, posiblemente originado por un falso contacto o una sujeción excesiva en el apriete.

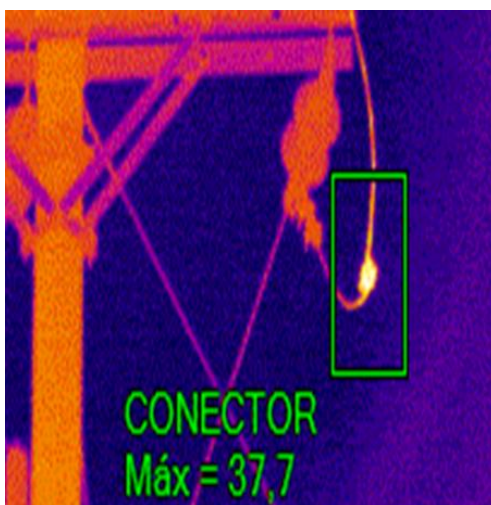


Figura 17 Punto caliente en el Conector 121308 con temperatura máxima de 37.7°C

3.9.3 Pararrayos clase de distribuidor polimérico, óxido metálico, 5kV, con desconectador en el poste 121968

Según las especificaciones del fabricante, el pararrayos opera en condiciones ambientales entre - 40°C hasta 40°C donde su desempeño es respecto a las del fabricante, es decir en su rango óptimo.

En la estructura 121968 3F Centrada Doble Retención a 13 kV, se registró una temperatura máxima de 42.5°C en el pararrayos polimérico, evidenciando un sobrecalentamiento que supera su límite de operatividad en condiciones normales. Este incremento, equivale a un 6.25%, superando su temperatura recomendada posiblemente causado por una descarga atmosférica en pararrayo del transformador.

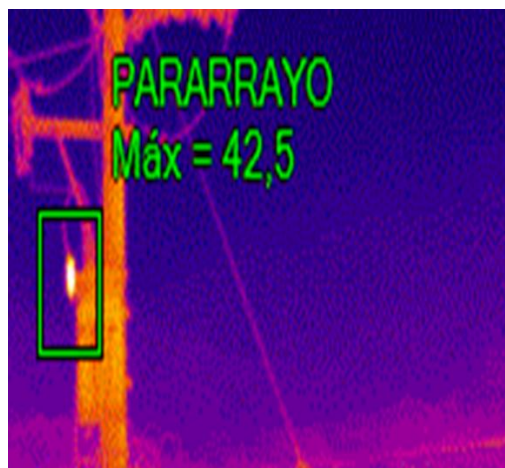


Figura 18 Punto caliente en el Conector 121968 con temperatura máxima de 42.5°C

3.9.4 Conector de aleación de Cu – Al, ranuras paralelas, dos pernos laterales de diferentes longitudes y separador ubicado en el poste 121988

En la Estructura 121988, o estructura de baja tensión Centrada a 13 kV con 4 Vías Vertical Pasante, se registraron una temperatura máxima de 53.6°C y una temperatura promedio de 25.3°C en el conector de ranuras paralelas, lo que indica un sobrecalentamiento. Este aumento térmico representa un 26.5% por encima de la temperatura nominal en relación con la temperatura promedio, y un 168% en comparación con la temperatura máxima, lo que sugiere la presencia de un punto caliente. Tal anomalía podría ser atribuida a un falso contacto o sulfatación en el conector.

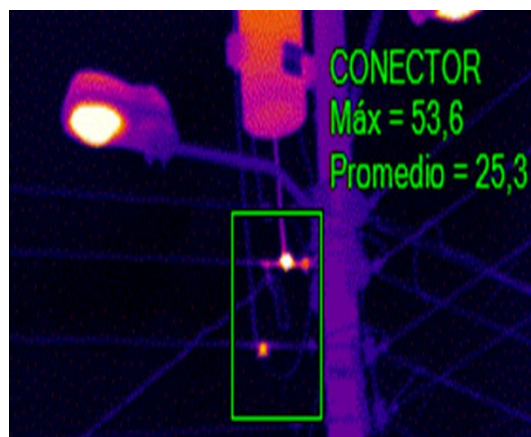


Figura 19 Punto caliente en el Conector 121988 con temperatura máxima de 53.6°C



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



3.9.5 Conector de aleación de Cu – Al, ranuras paralelas, dos pernos laterales de diferentes longitudes y separador ubicado en el poste 124436

En la Estructura 124436, o estructura de baja tensión Centrada a 13 kV con 4 Vías Vertical Pasante, se registró una temperatura máxima de 38.1°C en el conector de ranuras paralelas, lo que indica un sobrecalentamiento. Este incremento térmico, que representa un 90.5% por encima de la temperatura nominal, sugiere la existencia de un punto caliente, probablemente causado por un falso contacto o sulfatación en el conector.

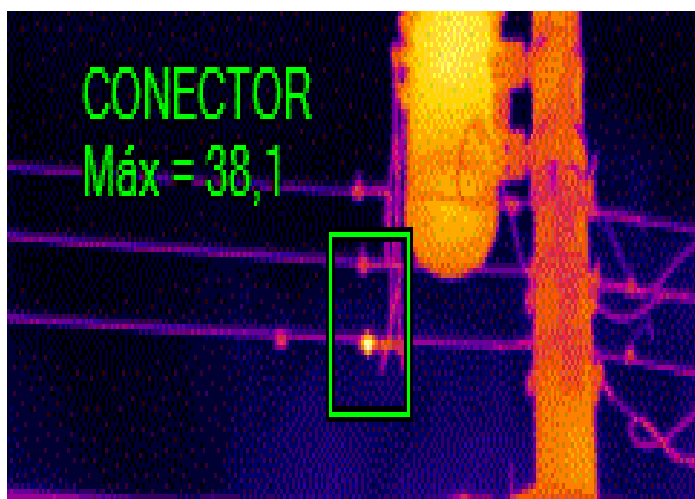


Figura 20 Punto caliente en el conector 124436 con temperatura máxima de 38.1°C

3.9.6 Conector aleación de Cu - Al, ranuras paralelas ubicado en el poste 123022

En la Estructura 123022 o Estructura 3F Centrada Retención Terminal de 13 kV, se registró una temperatura máxima de 38.1°C en el conector de ranuras paralelas, lo cual evidencia un sobrecalentamiento. Este aumento térmico, representa un aumento del 59% por encima de la temperatura nominal respecto a la temperatura máxima de operación, sugiere la presencia de un punto caliente, posiblemente originado por un falso contacto o contacto flojo en el punto de conexión del puente aéreo.

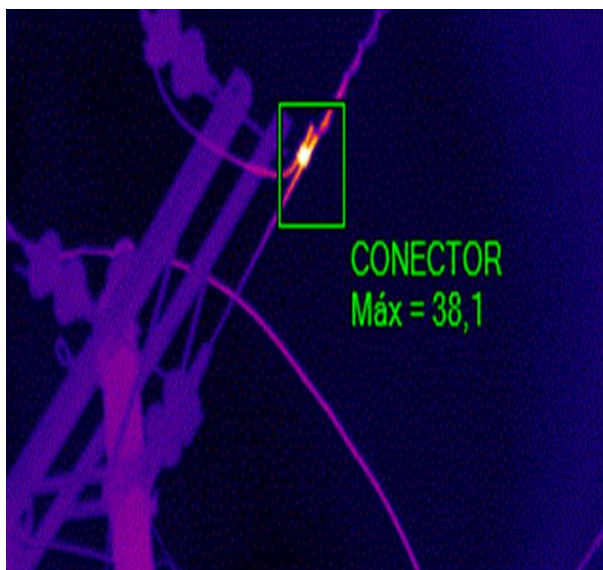


Figura 21 Punto caliente en el conector 123022 con temperatura máxima de 38.1°C

3.10 Diagnóstico general del de los puntos críticos en la línea de distribución del circuito K3.

En el diagnostico general en base al mapeo térmico se determinan detalles cómo su condición térmica en base a un nivel de gravedad en cada punto caliente encontrado a lo largo del circuito. También se muestra su sistema, la ubicación de cada uno para establecer el lugar del punto caliente.

TABLA 10 CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS CALIENTES EN EL CIRCUITO K3

Código poste	Sistema	Sector	Resultado del diagnostico	Nivel de gravedad
121270	Medio voltaje (13.8 kV)	Sector Peña Negra circuito K3 S/E La Carolina	Diferencia de temperatura en conector de puente aéreo de línea de MV de la Fase "A" circuito K3	Grado 4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD



121308	Medio voltaje (13.8 kV)	Sector Peña Negra circuito K3 S/E La Carolina	Diferencia de temperatura en conector de puente aéreo de línea de MV de la fase "A" circuito no.3	Grado 4
121968	Medio voltaje (13.8 kV)	Sector Cachaco en la curva circuito K3 S/E La Carolina	Diferencia de temperatura en pararrayo del transformador publico circuito K3	Grado 4
121988	Medio voltaje (13.8 kV)	Sector iglesia San Francisco de Cachaco centro de salud circuito K3 S/E La Carolina	Diferencia de temperatura en el conector de línea de bajo voltaje de la primera y segunda fase transformador monofásico circuito K3	Grado 4
124436	Medio voltaje (13.8 kV)	Sector Cachaco frente a finca Tío Alejo	Diferencia de temperatura en el conector de línea de bajo voltaje de la segunda fase transformador monofásico circuito K3	Grado 3
123022	Medio voltaje (13.8 kV)	Sector Lita calle principal vía al río Baboso	Diferencia de temperatura en conector de puente aéreo de línea de MV de la fase "C" circuito K3	Grado 3

Nota: Se describen las anomalías encontradas y el grado de criticidad que determinaría si un problema se presentaría en un determinado periodo de tiempo.

Durante la revisión de la línea de distribución en el circuito K3, se identificaron interferencias, como vegetación elevada presente en la franja de servidumbre, que puede intervenir en el funcionamiento del sistema como se muestra en la figura 16.

Esta vegetación al estar en contacto con las líneas de medio voltaje pueden provocar problemas como fugas de corriente, cortocircuitos, efecto corona, interrupciones en el servicio eléctrico e incluso riesgos de incendios.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



***Figura 22** Vegetación topando línea de medio voltaje en el circuito K3*

Las interferencias se detallan en la Tabla 11, que incluye referencias sobre la ubicación de los problemas y el nivel de gravedad asociado al peligro que representa en el circuito K3. Esta información permitirá priorizar las intervenciones necesarias y garantizar la operatividad del circuito.

Tabla 11 INTERFERENCIAS EXTERNAS PARA DEFINIR GRADO DE SEVERIDAD EN EL CIRCUITO K3

Referencia Código poste	Sistema	Sector	Resultado del diagnostico	Nivel de gravedad
121716	Medio voltaje (13.8 kV)	Sector Parambas vía Lita circuito K3	Ramas cerca de la línea de medio voltaje realizar el respectivo desbroce	Grado 4
121861	Medio voltaje (13.8 kV)	Sector Palo Amarillo vía Lita circuito K3 frente a la cancha	Ramas cerca de la línea de medio voltaje realizar el respectivo desbroce	Grado 4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD



122263	Medio voltaje (13.8 kV)	Sector Cachaco pasado el pueblo circuito K3	Ramas cerca de la línea de medio voltaje realizar el respectivo desbroce	Grado 3
122281	Medio voltaje (13.8 kV)	Sector Lita Ondonada para llegar al cuartel	Enredaderas cerca de la línea de medio voltaje realizar el respectivo desbroce	Grado 3
122283	Medio voltaje (13.8 kV)	Sector lita Ondonada para llegar al cuartel	Enredaderas cerca de la línea de medio voltaje realizar el respectivo desbroce	Grado 3

Nota: Se presentan los sectores y problemas encontrados en partes de la línea de medio voltaje del circuito K3 que podrían o estarían causando problemas en los componentes que componen cada estructura o poste

3.10.1 Cuadro de reportes

Con el fin de verificar la información del registro de los puntos calientes en los que se llevó a cabo el mantenimiento predictivo, se establece un cuadro resumen de reportes para su envío al Departamento de Distribución encargado del mantenimiento correctivo. Como se muestra en el Anexo B, dicho informe incluye datos generales, como la zona, el código del elemento, la ubicación, la fecha de inspección, el diagnóstico correspondiente para cada punto caliente identificado, la solución recomendada y la prioridad asignada, con el fin de garantizar la correcta ejecución del mantenimiento correctivo como también se muestra en la tabla 12.

Tabla 12 CUADRO DEL DIAGNÓSTICO EN LOS PUNTOS CALIENTES DEL CIRCUITO K3

Zona	Componente Analizado	Código Elemento (Poste)	Ubicación	Fecha	Diagnóstico	Solución recomendada	Prioridad
Zona III	Puentes Aéreos	121270	Vía San Lorenzo	7/10/2024	Diferencia de temperatura en conector de puente aéreo de línea de MV de la fase "a" circuito no.3	Limpieza, reajuste o sustitución	Inmediata
Zona III	Puentes Aéreos - Transformador de 10 kVA	121308	Vía San Lorenzo	7/10/2024	Diferencia de temperatura en conector de puente aéreo de línea de MV de la fase "a" circuito no.3	Limpieza, reajuste o sustitución	Inmediata
Zona III	Puentes Aéreos	121716	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Ramas cerca de la línea de MV realizar el respectivo desbroce	Desbroce de ramas	Inmediata
Zona III	Línea de Medio Voltaje	121861	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Ramas cerca de la línea de MV realizar el respectivo desbroce	Desbroce de ramas	Inmediata



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD



Zona III	Puentes Aéreos - Transformador de 5 kVA	121968	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Diferencia de temperatura en pararrayo del transformador publico circuito no.3	Limpieza, reajuste o sustitución	Inmediata
Zona III	Transformador de 10 kVA	121988	A Cachaco	7/11/2024	Diferencia de temperatura en el conector de línea de bajo voltaje de la primera y segunda fase transformador monofásico circuito no.3	Limpieza, reajuste o sustitución	Inmediata
Zona III	Puentes Aéreos	122263	San Lorenzo	7/11/2024	Ramas cerca de la línea de MV realizar el respectivo desbroce	Desbroce de ramas	Inmediata
Zona III	Transformador de 10 kVA	124436	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Diferencia de temperatura en el conector de línea de bajo voltaje de la segunda fase transformador monofásico circuito no.3	Limpieza, reajuste o sustitución	Inmediata
Zona III	Puentes Aéreos	122281	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Enredaderas cerca de la línea de MV realizar el respectivo desbroce	Desbroce	Inmediata
Zona III	Puentes Aéreos	122283	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Enredaderas cerca de la línea de MV realizar el respectivo desbroce	Desbroce	Inmediata
Zona III	Lazos Aéreos	123022	Lita Principal	7/12/2024	Diferencia de temperatura en conector de puente aéreo de línea de MV de la fase "c" circuito no.3	Limpieza, reajuste o sustitución	Inmediata

El diagnóstico realizado en la línea de distribución en el circuito K3 revela que de los 966 puntos evaluados en el circuito K3, el 99.38 % se encuentran en operación normal. Sin embargo, el 0.414 % presenta un nivel de clasificación crítico, lo que indica que requieren una reparación inmediata. Adicionalmente, el 0.21 % de los puntos necesita mantenimiento correctivo de nivel tres, dado que presentan un nivel de gravedad alto. Además, no se presentaron puntos de nivel dos y uno, los cuales solo requieren observación o pueden esperar. Es así como los puntos calientes obtenidos en el circuito son, en su mayoría, ínfimos. También se encontraron interferencias con fauna de criticidad media y alta que a corto o largo tiempo podrían influir en la aparición de puntos calientes o crear daños en la línea de distribución del circuito K3.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



CAPITULO 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo presenta las propuestas y estrategias de mantenimiento predictivo donde la detección temprana de variaciones de temperatura y su efectividad en el diagnóstico son factores clave para evaluar el estado del circuito en el alimentador de subestación eléctrica. La ejecución de estas propuestas estratégicas mejorara el proceso de recolección de datos, también permitirá que las actividades sean seguras tanto para el personal técnico como para el equipo que permite la medición de las fallas térmicas.

4.1 Proceso de propuestas y estrategias para mantenimiento predictivo por mapeo térmico

Se destaca que la implementación de procesos y procedimientos adecuados puede mejorar significativamente el mantenimiento predictivo. Con la ayuda del equipo técnico preparado y apropiado, no solo se obtienen datos relevantes en este proceso de propuestas y estrategias, sino que también se adquiere una perspectiva más amplia que permite realizar un mantenimiento más optimo. Este proceso contribuye a la identificación de anomalías térmicas y optimización de recursos al realizar mantenimiento predictivo en sistemas eléctricos sin desconexiones.

Es así como en la figura 23 se presenta el proceso del paso a paso de las actividades a realizar durante el mapeo térmico, donde su interés es cerciorar un adecuado mantenimiento predictivo, lo que implica que después de haberse solucionado los problemas reportados, el área pertinente realice una segunda inspección predictiva que garantice que se han resuelto y corregido las posibles perturbaciones por altas temperaturas en el sistema.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD

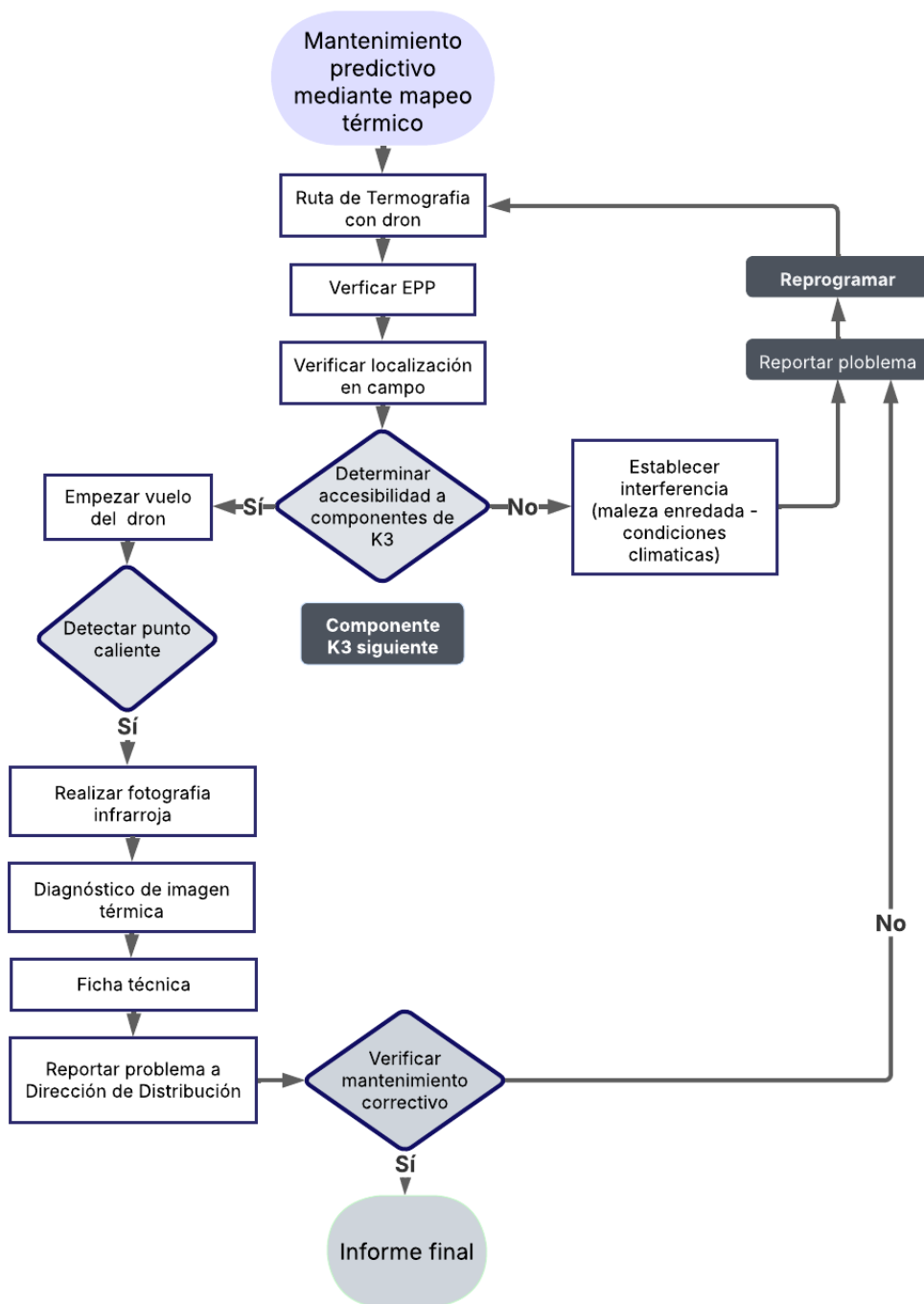


Figura 23: Diagrama de flujo del proceso de Mapeo térmico para Mantenimiento predictivo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



4.2 Directrices del proceso de trabajo

Para obtener mediciones cercanas a los valores reales, se recomienda registrar datos en seis puntos específicos dentro de los equipos en estudio, incluyendo seccionadores, capacitores, interruptores y reconectores entre otros. Estas mediciones deben realizarse en cada entrada y salida de cada fase, garantizando un buen análisis del comportamiento térmico de los componentes evaluados.

Las inspecciones en los alimentadores deben realizarse durante las horas de máxima demanda, priorizando los días laborables entre las 18:00 y 20:00 horas. Este período garantiza la obtención de datos representativos del comportamiento térmico de la infraestructura bajo las condiciones de mayor carga operativa.

Para la documentación final se realizará una vez que los puntos calientes hayan sido corregidos. Es decir, tras la implementación de las respectivas acciones correctivas, se llevará a cabo una segunda inspección obligatoria para verificar la efectividad de las medidas aplicadas y asegurar el adecuado funcionamiento de los equipos evaluados.

4.3 Propuesta de implementación de un medidor ambiental para determinar accesibilidad y operatividad durante el mapeo térmico en el circuito K3

Para el análisis térmico, es fundamental cumplir con parámetros que garanticen la correcta ejecución del mantenimiento predictivo durante el vuelo del dron. Esto incluye identificar las interferencias que pueden obstaculizar la captura de imágenes térmicas y las condiciones de vuelo que podrían afectar el rendimiento del dron.

La presencia de maleza y las condiciones climáticas son factores cruciales a considerar, ya que ambos influyen en la calidad de las imágenes térmicas obtenidas. Mientras que la maleza puede determinarse mediante una inspección visual, las condiciones climáticas requieren un análisis más detallado para asegurar un vuelo óptimo del dron.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



Para ello, se propone la implementación un medidor ambiental multifuncional que permite registrar las condiciones ambientales diversas en el punto de partida del mantenimiento. Este procedimiento asegura que las condiciones sean óptimas para la inspección y que factores externos no alteren las lecturas de los termogramas.

Una opción para la medición de las condiciones ambientales es el anemómetro Kestrel 5500, el cual contribuirá al procedimiento y análisis de los termogramas que se muestra en la figura 24.



Figura 24 Anemómetro Kestrel 5500. [44]

Este equipo permite determinar la velocidad y dirección del viento, así como otros parámetros ambientales relevantes que ayudan en la inspección y análisis térmico como se detallan en la tabla 13 respecto a los parámetros que necesita cada personal de trabajo.

Tabla 13 INFLUENCIA DEL ANEMÓMETRO KESTREL 5500 EN LAS ACTIVIDADES DEL MAPEO TÉRMICO

Personal	Actividades	Parámetros de medición del Kestrel 5500	Influencia del Kestrel 5500
Operador Dron	Navegación y captura de imágenes térmicas.	Velocidad del viento Presión barométrica Tendencia de presión Humedad Relativa	- Ajuste de altura y estabilidad del dron en por influencia del viento. - Determinar si las condiciones climáticas son seguras para el vuelo.
Termógrafo	Reconocer e identificar fallas térmicas, procesamiento de termogramas y evaluación de imágenes térmicas.	Velocidad del viento Humedad Relativa Temperatura	- Interferencia en la lectura de termogramas por humedad y viento. - Determinar humedad relativa y temperatura ambiente.

Nota: Los parámetros medidos por el anemómetro influyen directamente en las actividades del mapeo térmico a la vez que asegura trabajar bajo condiciones ambientales controladas.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



4.3.1 Propuesta de implementación de una cámara ultravioleta (UV)

La implementación de una cámara UV en el mantenimiento predictivo es clave para la detección del efecto corona en líneas de medio voltaje, específicamente en sistemas de 13.8 kV. Este fenómeno se produce cuando el campo eléctrico alrededor de un conductor supera un umbral crítico que genera ionización del aire y, en consecuencia, descargas eléctricas visibles.

En el circuito K3, las condiciones cálido-húmedas, junto con la alta humedad y la contaminación, son factores que pueden favorecer la formación del efecto corona. La humedad incrementa la conductividad del aire, mientras que los contaminantes en la superficie de los aislantes que pueden crear puntos de concentración de campo eléctrico, lo que eleva el riesgo de deterioro del aislamiento y pérdidas de energía.

La incorporación de una cámara UV, complementada con la cámara térmica ya utilizada en el mantenimiento predictivo, mejoraría aún más el monitoreo del circuito K3. Esto permite la detección temprana de descargas parciales y sobrecalentamientos, lo que es crucial para prevenir que estas fallas se agraven y afecten la operación del sistema con un nuevo equipo para mantenimiento predictivo.

4.4 Estrategia de Gestión y seguridad del vuelo

Una vez situados en el lugar del mantenimiento y para garantizar que la planificación del mapeo térmico y las actividades programadas se cumplan, se establecen procedimientos que priorizaran la seguridad del dron durante su inspección en el K3. En esta área, la presencia de maleza y aves representan riesgo para la integridad de los componentes, por lo que se implementan medidas de control y prevención para el personal de trabajo como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14 FUNCIONES Y ACCIONES DEL PERSONAL DE GESTIÓN Y SEGURIDAD DEL VUELO

Personal	Cargo	Acciones
Operador dron	Controlar y Operar	Navegación y captura de imágenes térmicas
Termógrafo	Detección e interpretación	Reconocer e identificar fallas térmicas, procesamiento de termogramas y evaluación de imágenes térmicas.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD



Operador de transporte y soporte	Desplazamiento de equipo y seguridad	Coordinación de transporte, Verificación logística, apoyo a operador de dron y termógrafo y cumplimiento de EPP.
----------------------------------	--------------------------------------	--

Nota: se designan las acciones que tomara el personal del mapeo térmico en función a su cargo.

La Asignación de los roles de trabajo al personal y la importancia del cumplimiento de sus acciones nos garantiza tiempo y de la misma forma que el trabajo sea eficiente como seguro tanto para el equipo de monitoreo como para el personal de trabajo.

4.5 Propuesta de documentación del proceso de trabajo

La documentación es un paso importante después de todo el procedimiento de mantenimiento predictivo, ya que reflejara las condiciones y estado de la estructura, equipo o componente, en este sentido a fin de que se tenga claro y que la evidencia sea más cercana a la realidad se establece varios parámetros que deben ingresarse en la ficha técnica.

4.5.1 Datos generales y características posicionales

La ficha técnica recomendada inicia con la sección de datos generales como se muestra en la figura 25, en la cual se registrará la información del analista responsable de determinar la criticidad del componente con anomalía térmica. Además, se incluyen las características posicionales de la inspección, tales como ubicación, lugar, fecha, carga del sistema, tipo de sistema y línea del sistema, conforme se presenta en la figura 26.

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN			
Reporte N°		1	
Nivel de Criticidad		Grado 4	
1. Datos generales			
1.1 Analista	TLGO. NIXON ESPINOZA	1.3 Tipo de inspección	Termografía aérea
1.2 Operador dron	TLGO. NIXON ESPINOZA	1.4 Nombre de empresa	EMLNORTE

Figura 25 Datos generales de la ficha técnica y nivel de criticidad de falla térmica



2. Características Posicionales e Inspección			
2.1 Ubicación	Sector peña negra	2.6 Hora de inspección	18:30:50 pm
2.2 Línea	Alimentador K3 - La Carolina	2.7 Fecha de inspección	7/10/2024
2.3 Tipo de sistema / instalación	Distribución	2.8 Nivel de tensión (kV)	13.8
2.4 Código estructura / torre	121270 - K3P49	2.9 Coordenadas	X 0.80741
2.5 Componente con defecto	Conector		Y -78.31885

Figura 26 Características posicionales de inspección y estado de equipos en campo

4.5.2 Condiciones de inspección térmica

En esta sección de condiciones de inspección térmica se registran los parámetros ambientales que determinan la idoneidad del vuelo y la captura de imágenes. Estos parámetros incluyen la velocidad del viento, la distancia de medición y la humedad relativa, los cuales son importantes para una interpretación de los puntos calientes. También, se registra el equipo utilizado en la inspección, ya que sus especificaciones técnicas se relacionan directamente en la calidad y precisión de los resultados térmicos, reflejando las condiciones del punto caliente tanto en la imagen térmica como en la observación de campo.

3. Condiciones de Inspección Térmica			
3.1 Equipo	Dron	Matrice 300 RTK	
	Camara	DJI Zenmuse H20T	
3.2 Temperatura ambiente (°C)	17°C	3.4 Humedad relativa	48%
3.4 Velocidad viento (m/s)	10 km/h	3.5 Distancia de medición	6m
4. Resultados Técnicos			
Descripción:	Diferencia de temperatura en conector de puente aéreo de línea de medio voltaje de la "Fase A" circuito No.3		
Imagen térmica		Imagen de campo (RGB)	

Figura 27 Parámetros de las condiciones ambientales de la inspección térmica y resultados técnicos

4.5.3 Análisis térmico

En la sección de análisis térmico se presentan los parámetros necesarios para la correcta interpretación de los puntos calientes. A partir de estos datos, se determina el nivel de criticidad,



estableciendo el tiempo en el que deben ejecutarse las acciones correctivas, además se presenta la parte de “condiciones de trabajo” la cual establece la ubicación de la anomalía. También se incluye una sección donde el analista puede presentar las posibles causas de la falla térmica y establece las recomendaciones a seguir para su corrección.

5. Análisis Térmico			
T. Ref. °C	7.0°C	CONDICIONES DE TRABAJO	
T. Max. °C	38.8°C	Neutro	
T. Amb. °C	17°C	Fase A	Conector
Delta T °C	24.3°C	Fase B	
Emisividad	0.93	Fase C	
Humeda Relativa %	48%	Tierra	
Nivel de Criticidad	Grado 4		
Posibles causas	Falso contacto o contacto flojo en punto de conexión del puente aéreo		
Recomendaciones a seguir:	Limpiar superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y conector de la fase "A" y cambio de conectores si es el caso.		
Observaciones:	Medidas correctivas requeridas, reparar inmediatamente		

Figura 28 Sección de análisis térmico del punto caliente de la estructura o equipo

4.5.4 Mantenimiento correctivo

En esta sección de mantenimiento correctivo se presenta la fecha de finalización de las actividades correctivas derivadas del análisis térmico, así como la identificación del responsable encargado de su ejecución, a partir de esto se finaliza la ficha técnica para el respectivo informe final.

6. Mantenimiento Correctivo	
Responsable del reporte:	
Fecha de acción correctiva:	
Responsable de la corrección:	

Figura 29 Sección de reporte actividades correctivas

Es importante señalar que la última sección se completa únicamente después de que el analista encargado de la termografía haya verificado el allanamiento de los componentes que presentaron anomalías, es decir después haber realizado una reevaluación térmica, esto con el objetivo de confirmar la efectividad de las acciones correctivas y garantizar el adecuado funcionamiento del sistema.



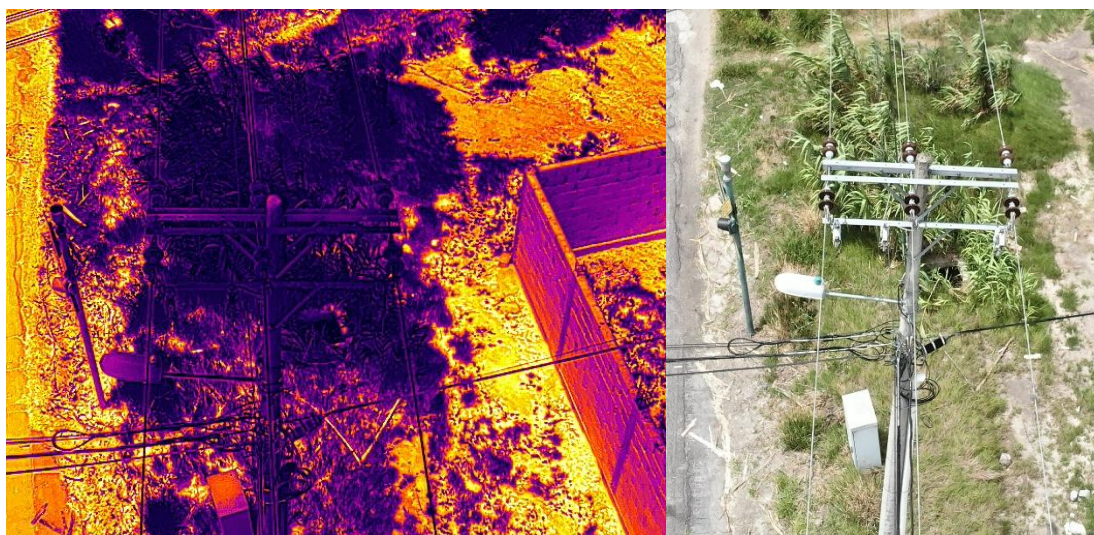
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



4.6 Propuesta de Verificación de ejecución de mantenimiento correctivo en el circuito K3

La planificación de un mantenimiento predictivo, fundamentada en el mapeo térmico se considera adecuada siempre que se realice una segunda inspección térmica tras la corrección de los puntos calientes por parte del personal de mantenimiento correctivo como se observa en la figura 23 y en la sección de mantenimiento correctivo de la figura 29.

En caso de que el personal técnico de inspección no verifique la correcta ejecución del mantenimiento, se deberá reportar nuevamente el problema, reprogramar en el cronograma de ruta de mapeo y retomar las actividades necesarias para el mantenimiento térmico. Por el contrario, si se confirma que se ha cumplido con el mantenimiento como en la figura 30, se elaborará un informe final que documente la solución de los problemas por sobrecalentamiento en los equipos, específicamente en el circuito K3.



***Figura 30:** Imagen térmica que no presenta “puntos calientes” (foto térmica / foto real).*

Con lo observado en la figura 30 se concluye que el mantenimiento predictivo mediante mapeo térmico es una propuesta estratégica no invasiva y segura a larga distancia.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



Conclusiones

La tecnología termográfica asistida por drones en redes de distribución eléctrica ha permitido que la detección temprana de umbrales de temperatura en equipos, de igual manera, realizar mantenimientos predictivos sin contacto, lo que ha proporcionado una mayor seguridad de las personas que están encargadas de estas labores, como también ha podido minimizado los riesgos asociados, ayudándonos a prevenir el deterioro de los equipos antes de que los problemas por exceso de temperatura sean más graves.

El diagnóstico y análisis con dron permitió demostrar que capturar imágenes desde un diferente ángulo proporciona una mejor visibilidad del estado térmico de los componentes, igualmente revelan otros problemas presentes como flora alta en el transcurso del circuito y que aun que se hayan encontrado pocos puntos calientes no significa que no se van a presentar fallas térmicas futuras en los mismos equipos o que el circuito este estable.

Las propuestas y estrategias en la planificación del mantenimiento predictivo mediante mapeo térmico permitieron ofrecernos una mejor visión de cómo se ejecuta adecuadamente un mantenimiento predictivo y como este es influenciado por cómo se ejecuta cada paso a paso para la obtención de resultados, no solamente datos de temperatura, sino que también influyen las condiciones ambientales y el almacenamiento de información.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



Recomendaciones

Se recomienda que el equipo de trabajo se familiarice con los equipos utilizados para el mantenimiento predictivo mediante dron, ya que un correcto manejo y manipulación de estos dispositivos con la adecuada información de los equipos vigentes, permite obtener una mejor interpretación de los datos capturados por la cámara y su buen manejo. Además, este conocimiento minimiza el riesgo de daños y costos adicionales asociados a reparaciones, lo que a su vez contribuye a evitar pérdidas económicas para la empresa.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



Referencias

- [1] G. A. Moya Tupiza, “Sistema de detección de riesgo de fallos por calentamiento, mediante procesamiento de imágenes termográficas en líneas de alta tensión”, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, Ibarra, 2022. Consultado: el 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12544>
- [2] H.-A. Langåker *et al.*, “An autonomous drone-based system for inspection of electrical substations”, *Int J Adv Robot Syst*, vol. 18, núm. 2, p. 172988142110029, mar. 2021, doi: 10.1177/17298814211002973.
- [3] J. Tibocha y J. Muñoz, “Certificación de competencias laborales con énfasis en operación de drones UCE/AEROPROF”, *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, vol. 15, núm. 1, pp. 78–83, ene. 2023, doi: 10.29166/revfig.v15i1.4390.
- [4] V. N. Nguyen, R. Jenssen, y D. Roverso, “Intelligent Monitoring and Inspection of Power Line Components Powered by UAVs and Deep Learning”, *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, vol. 6, núm. 1, pp. 11–21, mar. 2019, doi: 10.1109/JPETS.2018.2881429.
- [5] E. K. Ukiwe, S. A. Adeshina, y J. Tsado, “Techniques of infrared thermography for condition monitoring of electrical power equipment”, *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, vol. 10, núm. 1, p. 49, oct. 2023, doi: 10.1186/s43067-023-00115-z.
- [6] H. R. Bances Vidaurre, “Mantenimiento predictivo mediante la técnica de termografía para optimizar el funcionamiento del sistema eléctrico Tierras Nuevas en empresa Coelvisac”, Universidad César Vallejo, Chiclayo, 2020. Consultado: el 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/45649>
- [7] E. I. Molina y M. D. Jaramillo, “Metodología de mantenimiento predictivo en redes de distribución de medio voltaje por medio de técnica de estudio termográfico”,



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, Quito, 2023. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24573>
- [8] J. A. Varas Alava, “Diagnóstico Visual-térmico en sistemas eléctricos de subtransmisión y distribución con el uso de drones para efectuar mantenimientos”, Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Guayaquil, 2022. Consultado: el 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22503>
- [9] A. J. Carrasco Paredes, “Propuesta de un sistema de evasión de obstáculos para un dron aplicado a la inspección en redes de distribución y transmisión para la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.”, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo , Riobamba, 2018. Consultado: el 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10821>
- [10] E. M. Mora Reyna, Í. Navarrete García, y Y. Llosas Albuerne, “Análisis de termografía aplicada en las líneas eléctricas del alimentador de la Subestación ‘Crucita’”, *Polo del Conocimiento*, pp. 205–220, oct. 2022, Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4574>
- [11] A. Levy, D. Messina, y R. Contreras Lisperguer, “Definiciones del sector eléctrico para la incorporación de las energías renovables variables y la integración regional en América Latina y el Caribe”, el 31 de diciembre de 2021. Consultado: el 15 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11362/47656>
- [12] R. R. Torres Leones, “Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los equipos de subestaciones mediante inspección termográfica”, UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, Guayaquil, 2021.
- [13] I. Ullah *et al.*, “Predictive Maintenance of Power Substation Equipment by Infrared Thermography Using a Machine-Learning Approach”, *Energies (Basel)*, vol. 10, núm. 12, p. 1987, dic. 2017, doi: 10.3390/en10121987.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



- [14] H. Arcenio y S. Plaza, “Prevención de riesgos laborales eléctricos a través de un dron termográfico inteligente para CNEL-Esmeraldas”, *International Journal of Interdisciplinary Studies*, vol. 3, pp. 1–55, 2022, doi: 10.51798/sijis.v3i2.372.
- [15] A. Baktykerey y A. Zhanaliyev, “Thermal vision camera equipped drone for predictive maintenance of grid sub-stations”, pp. 1–29, may 2020, Consultado: el 23 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://nur.nu.edu.kz/handle/123456789/4713>
- [16] A. Taqi y S. Beryozkina, “Overhead Transmission Line Thermographic Inspection Using a Drone”, en *2019 IEEE 10th GCC Conference & Exhibition (GCC)*, IEEE, abr. 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/GCC45510.2019.1570521870.
- [17] E. V. Cruz Loya y V. H. Yugcha Quinatoa, “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.”, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2021. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8013>
- [18] L. S. Mantilla Paredes y G. A. Natividad Ramos, “Elaboración de plan de mantenimiento eléctrico en alimentador AMT CHS033 9na Sur Nuevo Chimbote, para mejorar calidad de servicio”, Trujillo, 2022. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/93506>
- [19] C. L. Sánchez Vargas, “TÉCNICA E INTERPRETACIÓN ADECUADAS PARA MEDICIONES INFRARROJAS EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS”, Huncayo, 2021. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7320>
- [20] J. D. Márquez Rivera, “Diseño de Dron con sistema de reconocimiento de picos de calor para revisión de cables de alta tensión”, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, Guayaquil, 2022. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57608>



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



- [21] M. I. Larriva Durán, “Estudio y Aplicación de Técnicas de Mantenimiento Predictivo con uso de Termografía, Caso de Estudio Laboratorio de Microrred Eléctrica de la Universidad de Cuenca”, Cuenca, dic. 2022.
- [22] R. E. Barrera Parra, C. Méndez Martínez, y J. C. Cobos Torres, “Uso de Inteligencia artificial y Drones para el diseño de redes eléctricas.”, *MQRInvestigar*, vol. 7, núm. 1, pp. 155–187, ene. 2023, doi: 10.56048/MQR20225.7.1.2023.155-187.
- [23] F. I. Mosquera Velásquez y E. P. Sánchez Gavilanes, “Diseño de un plan de mantenimiento, basado en la cargabilidad y análisis de resultados termográficos predictivos, para las subestaciones de la Unidad de negocio Bolívar”, UNIVERSIDAD DE CUENCA, Cuenca, 2018. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4557>
- [24] M. Segura Requejo, “Diseño de estructura soporta de cámara termográfica de un Drone-hezarotor para optimizar tiempo de inspección de sistemas de distribución eléctrica-Herzab-S.A.C”, Universidad César Vallejo, CHICLAYO , 2019. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/31664>
- [25] B. A. Canchaya Huaytalla, “El vant o dron como tecnología de supervisión remota en la protección contra sobretensiones de frente rápido en las líneas de transmisión de la región Junín”, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, Huancayo, 2021. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8144>
- [26] A. Alfaro Munarriz, “USO DE LA TECNOLOGÍA INFRARROJA (IR) PARA EL MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES CON AISLAMIENTO DE AIRE CONVENCIONAL (AIS) DE ALTA TENSION EN PERÚ”, Callao, 2022. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7146>



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



- [27] J. U. Sánchez Garay, “Inspección basada en Termografía Aérea para Plantas Fotovoltaicas situadas en Techos”, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA, Santiago , 2020. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl>
- [28] S. Cesti Díaz, “Propuesta de implementación de equipo RPA para mejorar la productividad de inspección de una línea de transmisión eléctrica en alta tensión”, UNIVERSIDAD RICARDO PALMA FACULTAD DE INGENIERÍA , Lima, 2020. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3920>
- [29] Xiaohua Yang, Xiao Ye, Jianing Cao, Rong Yan, Xiaojue Guo, y Jisheng Huang, “High-altitude Inspection Technology of Substation Based on Fusion of Unmanned Aerial Vehicle and Multiple Sensors”, pp. 1–22, jul. 2022, Consultado: el 25 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://sensors.myu-group.co.jp/sm_pdf/SM3035.pdf
- [30] M. N. Valencia-Bacilio, J. Zatzabal-Sánchez, L. E. Meza-Mina, y B. F. Chere-Quiñónez, “Proposal of a predictive and preventive maintenance plan in electrical substations through the use of thermography”, *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, vol. 4, núm. 2, p. e23023, jun. 2023, doi: 10.51798/sijis.v4i2.681.
- [31] M. Asif, “Predictive Maintenance of Power Substation Equipment by Infrared Thermography”, *SSRN Electronic Journal*, may 2023, doi: 10.2139/ssrn.4446059.
- [32] Mamani Lipa, “DIAGNÓSTICO MEDIANTE IMAGEN TERMOGRÁFICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS UTILIZANDO LA NORMA ISO 18434-1”, Arequipa, jun. 2023. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12773/16869>
- [33] Z. Mayer, A. Epperlein, R. Volk, E. Vollmer, y F. Schultmann, “Comparison of building thermography approaches using terrestrial and aerial thermographic images”, *IOP Conf Ser*



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



- Earth Environ Sci*, vol. 1078, núm. 1, p. 012026, sep. 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1078/1/012026.
- [34] M. Sornoza Macías y Y. Llosas Albuérne, “Mantenimiento a partir de puntos calientes en la Subestación Santo Domingo 230/138/69kV, utilizando termografía infrarroja”, vol. 7, núm. 5, pp. 1337–1347, 2022, doi: 10.23857/pc.v7i5.4031.
- [35] H. Muhammad Ameer, A. Haseeb, y Z. Abdullah, “Temperature Profiling of an Electric Grid using Unmanned Aerial Vehicle”, pp. 1–7, ago. 2022.
- [36] R. I. Carvallo Cumpa y E. R. Nieto Narciso, “Termografía infrarroja como herramienta para el mantenimiento predictivo de tableros eléctricos en la empresa AEI Engineers S.A.C.”, Universidad Privada del Norte, Lima, 2020. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/26027>
- [37] P. J. Orellana Rivas, “Propuesta de la integración de drones, como recurso en el plan de mantenimiento de la sección de líneas de transmisión del sistema central de la empresa de transporte y control de energía eléctrica del Inde”, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2018. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/185520035.pdf>
- [38] G. Álvarez Tey, “Caracterización de instalaciones fotovoltaicas mediante técnicas de termografía infrarroja”, Escuela Internacional de Doctorado, 2018.
- [39] K. Duran Ayma y J. C. Quintanilla Phocco, “Mantenimiento predictivo mediante la termografía para mejorar la operación del sub-sistema de distribución primaria de Tamburco 05 (TA-05) de Abancay en 22.9 kV”, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO, CUSCO, 2020. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12918/5107>
- [40] A. L. Farias Pullaguari y B. E. Fernández Atiaja, “Análisis termográfico del alimentador n° 1 en media tensión de la subestación eléctrica San Rafael”, Universidad Técnica de



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD

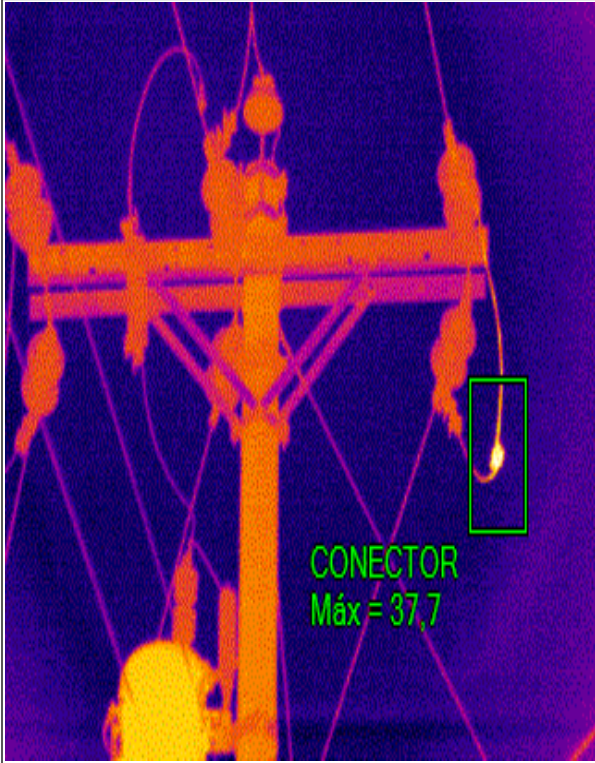


- Cotopaxi (UTC), Latacunga, 2021. Consultado: el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7841>
- [41] APLITER Termografía, “DJI ZENMUSE H20T”. Consultado: el 16 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.aplitter.com/producto/dji-zenmuse-h20t/>
- [42] Enterprise, “Matrice 300 RTK”. Consultado: el 16 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://enterprise.dji.com/matrice-300/specs>
- [43] Fluke, “Cámara termográfica industrial Fluke Ti32”. Consultado: el 16 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-es/producto/camara-termografica/ti32-eur>
- [44] Extreme Meters, “Medidor ambiental profesional Kestrel 5200”, 2018, Consultado: el 10 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.extrememeters.com/es-sam/products/kestrel-5200-professional-environmental-meter?srltid=AfmBOopew9TSI5ssJHqJEvArTdM8FMTmD--cDN8OHVfsH6OX9XoSl396>

Anexos A

FICHAS TÉCNICAS DE PUNTOS CALIENTES DEL CIRCUITO K3

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN					
Fecha de Inspección:		7/10/2024			
Hora de Inspección:		18:30:50pm			
REPORTE TERMOGRAFICO N°		1		TERMOGRAFISTA: TLGO. NIXON ESPINOZA	
IDENTIFICACIÓN:					
INSTALACIÓN	UBICACIÓN	CODIGO, # POSTE	COMPONENTE CON DEFECTO	DESCRIPCIÓN	
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN	SECTOR PEÑA NEGRA CIRCUITO No.3 S/E LA CAROLINA	121270 K3P49	CONECTOR	DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN CONECTOR DE PUENTE AEREO DE LÍNEA DE MEDIO VOLTAJE DE LA FASE "A" CIRCUITO No.3	
IMAGEN TERMICA			IMAGEN DE CAMPO		
					
ANÁLISIS TÉRMICO					
T. Ref. °C	7,0°C			CONDICIONES DE TRABAJO:	
T. Max. °C	38,8°C	Emisividad	0.93	FASE A	CONECTOR
T. Amb. °C	17°C	Humedad Relativa %	48%	FASE B	
Delta T °C	34,3°C			FASE C	
SEVERIDAD DEL PROBLEMA:		GRADO 4			
POSIBLES CAUSAS:		FALSO CONTACTO O CONTACTO FLOJO EN PUNTO DE CONEXION DEL PUENTE AEREO			
RECOMENDACIONES A SEGUIR:		Limpiar superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y conector de la fase "A" - (cambio de conectores si es el caso).			
OBSERVACIONES:		Medidas correctivas requeridas, REPARAR INMEDIATAMENTE			
RESPONSABLE DEL REPORTE:					
FECHA DE LA ACCIÓN CORRECTIVA:					
RESPONSABLE DE LA CORRECCION:					

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN					
Fecha de Inspección:		7/10/2024			
Hora de Inspección:		18:40:20Pm			
REPORTE TERMOGRÁFICO N°		2		TERMOGRAFISTA: TLGO. NIXON ESPINOZA	
IDENTIFICACIÓN:					
INSTALACIÓN	UBICACIÓN	CODIGO, # POSTE	COMPONENTE CON DEFECTO	DESCRIPCIÓN	
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN	SECTOR PEÑA NEGRA CIRCUITO No.3 S/E LA CAROLINA	121308 K3P87	CONECTOR	DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN CONECTOR DE PUENTE AEREO DE LÍNEA DE MEDIO VOLTAJE DE LA FASE "A" CIRCUITO No.3	
IMAGEN TERMICA			IMAGEN DE CAMPO		
					
ANÁLISIS TERMICO					
T. Ref. °C	7,0°C			CONDICIONES DE TRABAJO:	
T. Max. °C	37,7°C	Emisividad	0.93	FASE A	CONECTOR
T. Amb. °C	17°C	Humeda Relativa %	48%	FASE B	
Delta T °C	30,7°C			FASE C	
SEVERIDAD DEL PROBLEMA:		GRADO 4			
POSIBLES CAUSAS:		FALSO CONTACTO O CONTACTO FLOJO EN PUNTO DE CONEXION DEL PUENTE AEREO			
RECOMENDACIONES A SEGUIR:		Limpiar superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y conector de la fase "A" - (cambio de conectores si es el caso).			
OBSERVACIONES:		Medidas correctivas requeridas, REPARAR INMEDIATAMENTE			
RESPONSABLE DEL REPORTE:					
FECHA DE LA ACCIÓN CORRECTIVA:					
RESPONSABLE DE LA CORRECCION:					

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN

Fecha de Inspección: 7/6/2024
 Hora de Inspección: 11:28:19Am



REPORTE TERMOGRÁFICO N° 5 TERMOGRAFISTA: TLGO. NIXON ESPINOZA

IDENTIFICACIÓN:

INSTALACIÓN	UBICACIÓN	CODIGO, # POSTE	COMPONENTE CON DEFECTO	DESCRIPCIÓN
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN	SECTOR CACHACO EN LA CURVA CIRCUITO No.3 LA CAROLINA	121968 O K3P775	PARARRAYO	DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN PARARRAYO DEL TRANSFORMADOR PUBLICO CIRCUITO No.3

IMAGEN TERMICA

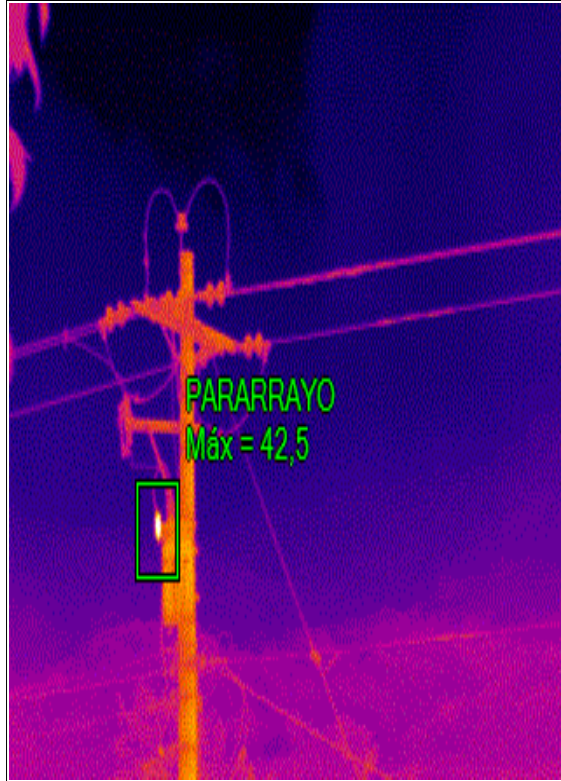


IMAGEN DE CAMPO



ANÁLISIS TÉRMICO

T. Ref. °C	10°C			CONDICIONES DE TRABAJO:	
T. Max. °C	42,5°C	Emisividad	0.93	NEUTRO	
T. Amb. °C	17°C	Humeda Relativa %	48%	PRIMERA FASE	
Delta T °C	30,5°C			SEGUNDA FASE	
				TIERRA	PARARRAYO DEL TRANSFORMADOR

SEVERIDAD DEL PROBLEMA:	GRADO 4
POSIBLES CAUSAS:	POSIBLE DESCARGA ADMSFERICA EN PARARRAYO DEL TRANSFORMADOR
RECOMENDACIONES A SEGUIR:	REALIZAR EL CAMBIO DEL PARARRAYO DEL TRANSFORMADOR (cambio de conectores si es el caso).
OBSERVACIONES:	Medidas correctivas requeridas, REPARAR TAN PRONTO SEA POSIBLE

RESPONSABLE DEL REPORTE:	
FECHA DE LA ACCIÓN CORRECTIVA:	
RESPONSABLE DE LA CORRECCION:	

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN

Fecha de Inspección: 7/10/2024
 Hora de Inspección: 19:33:33Pm



REPORTE TERMÓGRÁFICO N° 6 TERMOGRAFISTA: TLGO. NIXON ESPINOZA

IDENTIFICACIÓN:

INSTALACIÓN	UBICACIÓN	CODIGO, # POSTE	COMPONENTE CON DEFECTO	DESCRIPCIÓN
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN TRANSFORMADOR	SECTOR IGLESIA SAN FRANCISCO DE CACHACO -CENTRO DE SALUD CIRCUITO No.3	121988 O K3P795	CONECTOR	DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN EL CONECTOR DE LÍNEA DE BAJO VOLTAJE DE LA PRIMERA Y SEGUNDA FASE TRAFIO MONOFASICO CIRCUITO No.3

IMAGEN TERMICA

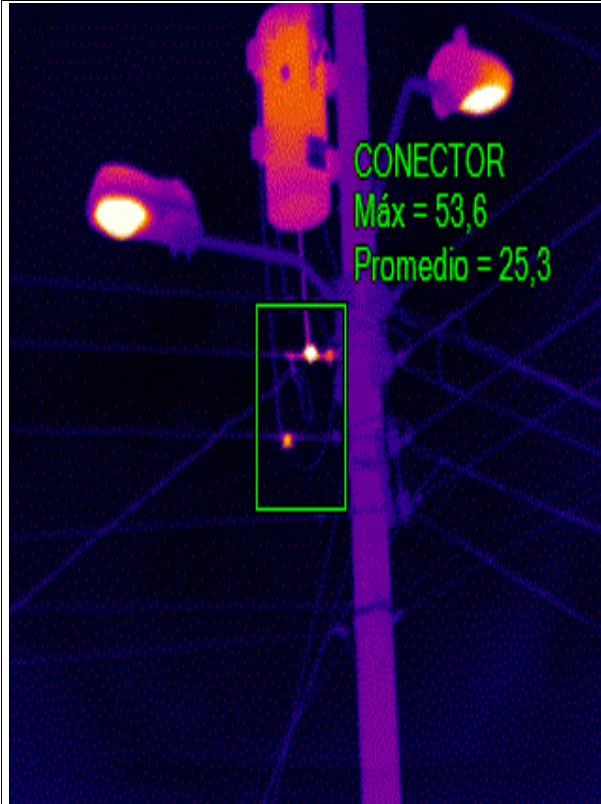


IMAGEN DE CAMPO



ANALISIS TERMICO

T. Ref. °C	20°C			CONDICIONES DE TRABAJO:	
T. Max. °C	53,6°C	Emisividad	0.93	PRIMERA FASE	CONECTOR
T. Amb. °C	17°C	Humeda Relativa %	48%	SEGUNDA FASE	CONECTOR
Delta T °C	33,6°C			NEUTRO	

SEVERIDAD DEL PROBLEMA:	GRADO 4
POSIBLES CAUSAS:	MAL CONTACTO ENTRE CONDUCTOR, CONECTOR- FLOJO O SULFATADO
RECOMENDACIONES A SEGUIR:	Limpia superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y conector de línea de primera y segunda fase (cambio y reajuste de conectores)
OBSERVACIONES:	Medidas correctivas requeridas, REPARAR INMEDIATAMENTE

RESPONSABLE DEL REPORTE:	
FECHA DE LA ACCIÓN CORRECTIVA:	
RESPONSABLE DE LA CORRECCION:	

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN

Fecha de Inspección: 7/10/2024
 Hora de Inspección: 19:45:13Pm



REPORTE TERMÓGRÁFICO N° 8 TERMOGRAFISTA: TLGO. NIXON ESPINOZA

IDENTIFICACIÓN:

INSTALACIÓN	UBICACIÓN	CODIGO, # POSTE	COMPONENTE CON DEFECTO	DESCRIPCIÓN
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN TRANSFORMADOR	SECTOR CACHACO FRENTE A FINCA TIO ALEJO	124436 O K3P5654	CONECTOR	DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN EL CONECTOR DE LÍNEA DE BAJO VOLTAJE DE LA SEGUNDA FASE TRAFÓ MONOFÁSICO CIRCUITO No.3

IMAGEN TERMICA

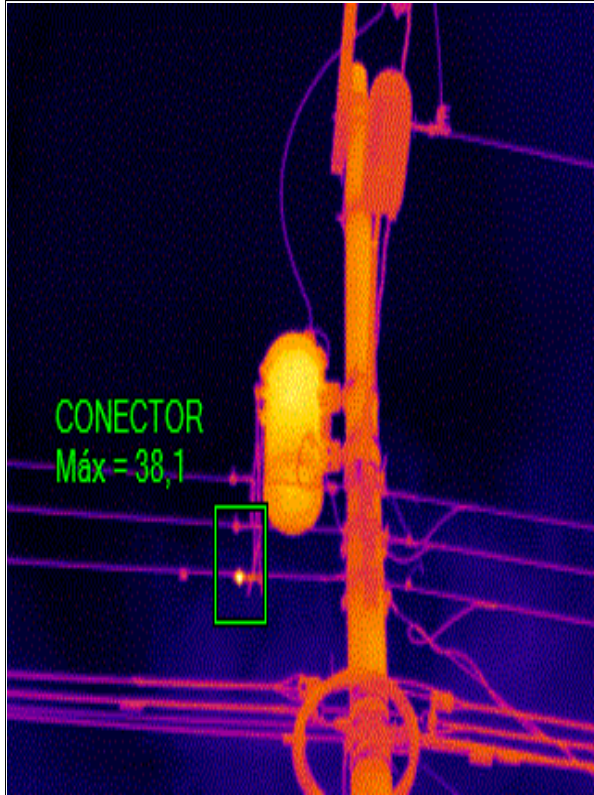


IMAGEN DE CAMPO



ANÁLISIS TÉRMICO

T. Ref. °C	10°C			CONDICIONES DE TRABAJO:	
T. Max. °C	38,1°C	Emisividad	0.93	PRIMERA FASE	
T. Amb. °C	17°C	Humedad Relativa %	48%	SEGUNDA FASE	CONECTOR
Delta T °C	28,1°C			NEUTRO	

SEVERIDAD DEL PROBLEMA:	GRADO 3
POSIBLES CAUSAS:	MAL CONTACTO ENTRE CONDUCTOR, CONECTOR- FLOJO O SULFATADO
RECOMENDACIONES A SEGUIR:	Limpiar superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y conector de línea de primera y segunda fase (cambio y reajuste de conectores)
OBSERVACIONES:	Medidas correctivas requeridas , ATENDER LO MAS PRONTO POSIBLE

RESPONSABLE DEL REPORTE:	
FECHA DE LA ACCIÓN CORRECTIVA:	
RESPONSABLE DE LA CORRECCION:	

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN

Fecha de Inspección: 7/10/2024
Hora de Inspección: 20:00:20Pm



REPORTE TERMOGRÁFICO N°

11

TERMOGRAFISTA:

TLGO. NIXON ESPINOZA

IDENTIFICACIÓN:

INSTALACIÓN	UBICACIÓN	CODIGO, # POSTE	COMPONENTE CON DEFECTO	DESCRIPCIÓN
LINEA DE DISTRIBUCIÓN	SECTOR LITA CALLE PRINCIPAL VIA AL BABOSO	123022 K3P1845	CONECTOR	DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN CONECTOR DE PUENTE AEREO DE LINEA DE MEDIO VOLTAJE DE LA FASE "C" CIRCUITO No.3

IMAGEN TERMICA

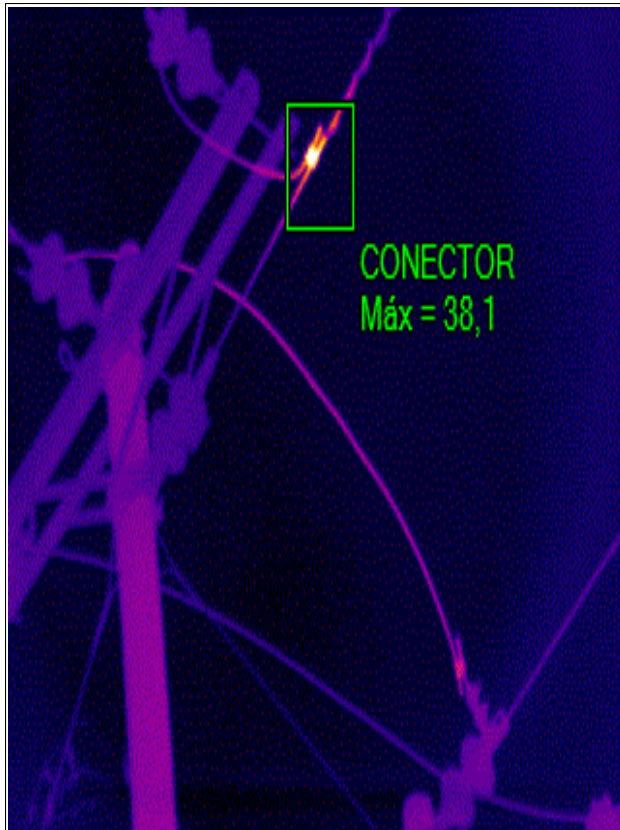


IMAGEN DE CAMPO



ANALISIS TERMICO

T. Ref. °C	10,0°C			CONDICIONES DE TRABAJO:	
T. Max. °C	38,1°C	Emisividad	0.93	FASE A	
T. Amb. °C	17°C	Humeda Relativa %	48%	FASE B	
Delta T °C	28,1°C			FASE C	CONECTOR

SEVERIDAD DEL PROBLEMA:	GRADO 3
POSIBLES CAUSAS:	FALSO CONTACTO O CONTACTO FLOJO EN PUNTO DE CONEXION DEL PUENTE AEREO
RECOMENDACIONES A SEGUIR:	Limpiar superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y conector de la fase "C" - (cambio de conectores si es el caso).
OBSERVACIONES:	Medidas correctivas requeridas , ATENDER LO MAS PRONTO POSIBLE
RESPONSABLE DEL REPORTE:	
FECHA DE LA ACCIÓN CORRECTIVA:	
RESPONSABLE DE LA CORRECCION:	

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN

Fecha de Inspección: 7/6/2024
Hora de Inspección: 10:00:30Am



REPORTE TERMOGRÁFICO N°: 3 TERMOGRAFISTA: TLGO. NIXON ESPINOZA

IDENTIFICACIÓN:				
INSTALACIÓN	UBICACIÓN	CODIGO, # POSTE	COMPONENTE CON DEFECTO	DESCRIPCIÓN
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN	SECTOR PARAMBAS VIA LITA CIRCUITO No.3	121716 O K3P508	RAMAS	RAMAS CERCA DE LA LÍNEA DE MEDIO VOLTAJE REALIZAR EL RESPECTIVO DESBROCE

IMAGEN DE CAMPO



GRADO DE SEVERIDAD :	GRADO 4
POSIBLES CAUSAS:	RAMAS CERCA DE LA LÍNEA DE MEDIO VOLTAJE
RECOMENDACIONES A SEGUIR:	REALIZAR EL RESPECTIVO DESBROCE
OBSERVACIONES:	Medidas correctivas requeridas, REPARAR INMEDIATAMENTE

RESPONSABLE DEL REPORTE:	
FECHA DE LA ACCIÓN CORRECTIVA:	
RESPONSABLE DE LA CORRECCION:	

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN

Fecha de Inspección: 7/6/2024
 Hora de Inspección: 10:38:19Am



REPORTE TERMOGRÁFICO N°: 4 TERMOGRAFISTA: TLGO. NIXON ESPINOZA

IDENTIFICACIÓN:

INSTALACIÓN	UBICACIÓN	CODIGO, # POSTE	COMPONENTE CON DEFECTO	DESCRIPCIÓN
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN	SECTOR PALO AMARILLO VIA LITA CIRCUITO No.3 FRENTE A LA CANCHA	121861 O K3P661	RAMAS	RAMAS CERCA DE LA LINEA DE MEDIO VOLTAJE REALIZAR EL RESPECTIVO DESBROCE

IMAGEN DE CAMPO



GRADO DE SEVERIDAD :	GRADO 4
POSIBLES CAUSAS:	RAMAS CERCA DE LA LINEA DE MEDIO VOLTAJE
RECOMENDACIONES A SEGUIR:	REALIZAR EL RESPECTIVO DESBROCE
OBSERVACIONES:	Medidas correctivas requeridas, REPARAR INMEDIATAMENTE

RESPONSABLE DEL REPORTE:	
FECHA DE LA ACCIÓN CORRECTIVA:	
RESPONSABLE DE LA CORRECCION:	

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN

Fecha de Inspección: 7/6/2024
 Hora de Inspección: 11:08:09Am



REPORTE TERMOGRÁFICO N°: 7 TERMOGRAFISTA: TLGO. NIXON ESPINOZA

IDENTIFICACIÓN:

INSTALACIÓN	UBICACIÓN	CODIGO, # POSTE	COMPONENTE CON DEFECTO	DESCRIPCIÓN
LINEA DE DISTRIBUCIÓN	SECTOR CACHACO PASADO EL PUEBLO CIRCUITO No.3	122263 O K3P1078	RAMAS SOBRE LINEA MV	RAMAS CERCA A LA LINEA DE MEDIO VOLTAGE REALIZAR EL RESPECTIVO DESBROCE

IMAGEN DE CAMPO



GRADO DE SEVERIDAD :	GRADO 3
POSIBLES CAUSAS:	RAMAS DE ARBOL ROSANDO LA LINEA DE MEDIO VOLTAGE
RECOMENDACIONES A SEGUIR:	REALIZAR EL RESPECTIVO DESBROCE
OBSERVACIONES:	Medidas correctivas requeridas , ATENDER LO MAS PRONTO POSIBLE
RESPONSABLE DEL REPORTE:	
FECHA DE LA ACCIÓN CORRECTIVA:	
RESPONSABLE DE LA CORRECCION:	

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN

Fecha de Inspección: 7/6/2024
 Hora de Inspección: 13:48:09Pm



REPORTE TERMOGRÁFICO N°: 9 TERMOGRAFISTA: TLGO. NIXON ESPINOZA

IDENTIFICACIÓN:

INSTALACIÓN	UBICACIÓN	CODIGO, # POSTE	COMPONENTE CON DEFECTO	DESCRIPCIÓN
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN	SECTOR LITA ONDONADA PARA LLEGAR AL CUARTEL MILITAR	122281 O K3P1096	ENREDADERAS	ENREDADERAS CERCA A LA LÍNEA DE MEDIO VOLTAJE REALIZAR EL RESPECTIVO DESBROCE

IMAGEN DE CAMPO



GRADO DE SEVERIDAD:	GRADO 3
POSIBLES CAUSAS:	ENREDADERAS CRECIENDO POR TENSORES HACIA LA LÍNEA DE MEDIO VOLTAJE
RECOMENDACIONES A SEGUIR:	REALIZAR EL RESPECTIVO CORTE DE LAS ENREDADERAS
OBSERVACIONES:	Medidas correctivas requeridas , ATENDER LO MAS PRONTO POSIBLE
RESPONSABLE DEL REPORTE:	
FECHA DE LA ACCIÓN CORRECTIVA:	
RESPONSABLE DE LA CORRECCION:	

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN

Fecha de Inspección: 7/6/2024
 Hora de Inspección: 13:48:09Pm



REPORTE TERMOGRÁFICO N°: 10 TERMOGRAFISTA: TLGO. NIXON ESPINOZA

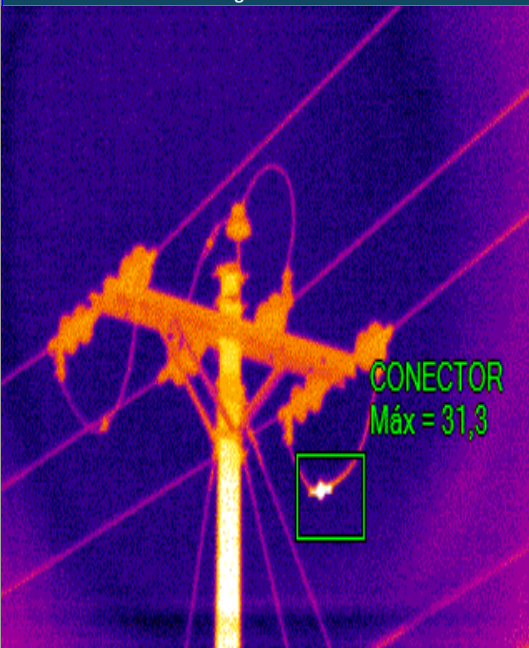
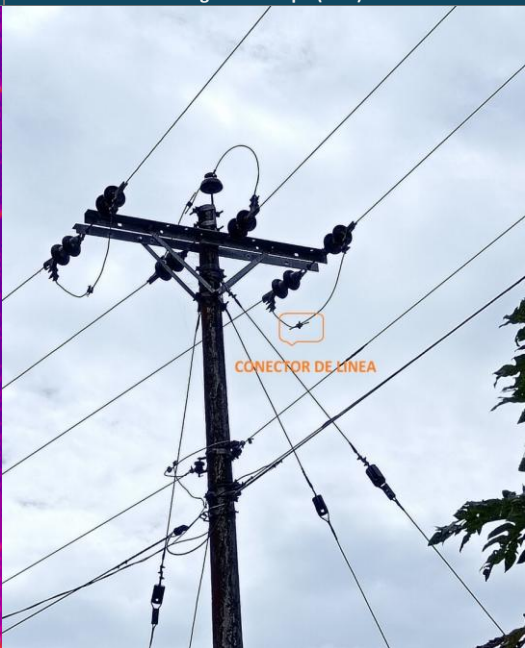
IDENTIFICACIÓN:

INSTALACIÓN	UBICACIÓN	CODIGO, # POSTE	COMPONENTE CON DEFECTO	DESCRIPCIÓN
LINEA DE DISTRIBUCIÓN	SECTOR LITA ONDONADA PARA LLEGAR AL CUARTEL MILITAR	122283 O K3P1098	ENREDADERAS	ENREDADERAS CERCA A LA LINEA DE MEDIO VOLTAJE REALIZAR EL RESPECTIVO DESBROCE

IMAGEN DE CAMPO



GRADO DE SEVERIDAD :	GRADO 3
POSIBLES CAUSAS:	ENREDADERAS CRECIENDO POR TENSORES HACIA LA LINEA DE MEDIO VOLTAJE
RECOMENDACIONES A SEGUIR:	REALIZAR EL RESPECTIVO CORTE DE LAS ENREDADERAS
OBSERVACIONES:	Medidas correctivas requeridas , ATENDER LO MAS PRONTO POSIBLE
RESPONSABLE DEL REPORTE:	
FECHA DE LA ACCIÓN CORRECTIVA:	
RESPONSABLE DE LA CORRECCION:	

FICHA TÉCNICA DE INSPECCIÓN			
Reporte N°		1	
Nivel de Criticidad		Grado 4	
			
1. Datos generales			
1.1 Analista		1.3 Tipo de inspección	Termografía aérea
1.2 Operador dron		1.4 Nombre de empresa	EMELNORTE
2. Características Posicionales e Inspección			
2.1 Ubicación	Sector peña negra	2.6 Hora de inspección	18:30:50 pm
2.2 Línea	Alimentador K3 - La Carolina	2.7 Fecha de inspección	7/10/2024
2.3 Tipo de sistema / instalación	Distribución	2.8 Nivel de tensión (kV)	13.8
2.4 Código estructura / torre	121270 - K3P49	2.9 Coordenadas	X 0.80741
2.5 Componente con defecto	Conector		Y -78.31885
3. Condiciones de Inspección Térmica			
3.1 Equipo	Dron	Matrice 300 RTK	
	Camara	DJI Zenmuse H20T	
3.2 Temperatura ambiente (°C)	17°C	3.4 Humedad relativa	48%
3.4 Velocidad viento (m/s)	10 km/h	3.5 Distancia de medición	6m
4. Resultados Técnicos			
Descripción:	Diferencia de temperatura en conector de puente aéreo de línea de medio voltaje de la "Fase A" circuito No.3		
Imagen térmica		Imagen de campo (RGB)	
			
5. Análisis Térmico			
T. Ref. °C	7.0°C	CONDICIONES DE TRABAJO	
T. Max. °C	38.8°C	Neutro	
T. Amb. °C	17°C	Fase A	Conector
Delta T °C	24.3°C	Fase B	
Emisividad	0.93	Fase C	
Humeda Relativa %	48%	Tierra	
Nivel de Criticidad	Grado 4		
Posibles causas	Falso contacto o contacto flojo en punto de conexión del puente aéreo		
Recomendaciones a seguir:	Limpiar superficie de unión y asegurar un buen contacto entre conductor y conector de la fase "A" y cambio de conectores si es el caso.		
Observaciones:	Medidas correctivas requeridas, reparar inmediatamente		
6. Mantenimiento Correctivo			
Responsable del reporte:			
Fecha de acción correctiva:			
Responsable de la corrección:			

Anexo B

Dirección de Planificación - Departamento de Calidad de Energía y Estudios Eléctricos - Unidad de Termografía											
Mes	Zona	Subestación	Alimentador	Componente Analizado	Código Elemento (Poste)	Código de Componente	Ubicación	Fecha	Diagnóstico	Solución Recomendada	Prioridad
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Seccionadores de salida de Circuitos	124680	34664	Vía San Lorenzo	7/10/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Transformador de 10 kVA	212429	170065	Vía San Lorenzo	7/10/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Portafusibles Principales	121244	255265	Vía San Lorenzo	7/10/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Derivación Monofásica	121266	359380	Vía San Lorenzo	7/10/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	121270	473640	Vía San Lorenzo	7/10/2024	DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN CONECTOR DE PUENTE AREO DE LINEA DE MEDIO VOLTAJE DE LA FASE "A" CIRCUITO No.3	LIMPIEZA, REAJUSTE SUSTITUCION	O Inmediata
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos - Transformador de 10 kVA	121308	25841	Vía San Lorenzo	7/10/2024	DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN CONECTOR DE PUENTE AREO DE LINEA DE MEDIO VOLTAJE DE LA FASE "A" CIRCUITO No.3	LIMPIEZA, REAJUSTE SUSTITUCION	O Inmediata
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Portafusible Principal Monofásico	121354	34669	Vía San Lorenzo	7/10/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Transformador de 10 kVA	121384	25660	Vía San Lorenzo	7/10/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Derivación Monofásica	124213	586144	Vía San Lorenzo	7/10/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	213764	695639	Vía San Lorenzo	7/10/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Transformador de 100 kVA	124222	91559	A Santa Cecilia	7/10/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	123931	509851	Parambas	7/10/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	121708	435926	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	121716	381219	Vía San Lorenzo	7/11/2024	RAMAS CERCA DE LA LINEA DE MEDIO VOLTAJE REALIZAR EL RESPECTIVO DESBROCE	DESBROCE RAMAS	DE Inmediata
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Portafusible Principal Monofásico	121761	34691	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	121813	381200	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Transformador de 10 kVA	121829	25809	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos - Transformador de 15 kVA	121841	25810	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Línea de Medio Voltaje	121861	443751	Vía San Lorenzo	7/11/2024	RAMAS CERCA DE LA LINEA DE MEDIO VOLTAJE REALIZAR EL RESPECTIVO DESBROCE	DESBROCE RAMAS	DE Inmediata
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Portafusible Línea Monofásica	121870	34692	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Portafusibles Principales	213710	34693	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	213706	696229	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Transformador de 15 kVA	121946	25828	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos - Transformador de 5 kVA	121968	25832	Vía San Lorenzo	7/11/2024	DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN PARARRAYO DEL TRANSFORMADOR PUBLICO CIRCUITO No.3	LIMPIEZA, REAJUSTE SUSTITUCION	O Inmediata
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	121979	408877	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Transformador de 10 kVA	121988	186395	A Cachaco	7/11/2024	DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN EL CONECTOR DE LINEA DE BAJO VOLTAJE DE LA PRIMERA Y SEGUNDA FASE TRAF0 MONOFASICO CIRCUITO No.3	LIMPIEZA, REAJUSTE SUSTITUCION	O Inmediata
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	122263	408861	San Lorenzo	7/11/2024	RAMAS CERCA A LA LINEA DE MEDIO VOLTAJE REALIZAR EL RESPECTIVO DESBROCE	DESBROCE RAMAS	DE Inmediata
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Transformador de 10 kVA	124436	104466	Vía San Lorenzo	7/11/2024	DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN EL CONECTOR DE LINEA DE BAJO VOLTAJE DE LA SEGUNDA FASE TRAF0 MONOFASICO CIRCUITO No.3	LIMPIEZA, REAJUSTE SUSTITUCION	O Inmediata
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Derivación Monofásica	122266	482794	Vía San Lorenzo	7/11/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	122281	482445	Vía San Lorenzo	7/11/2024	ENREDADERAS CERCA A LA LINEA DE MEDIO VOLTAJE REALIZAR EL RESPECTIVO DESBROCE	DESBROCE	Inmediata
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	122283	408867	Vía San Lorenzo	7/11/2024	ENREDADERAS CERCA A LA LINEA DE MEDIO VOLTAJE REALIZAR EL RESPECTIVO DESBROCE	DESBROCE	Inmediata
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos - Transformador de 5 kVA	122290	65956	Vía San Lorenzo	7/12/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	122298	407343	Vía San Lorenzo	7/12/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	122309	510184	Vía San Lorenzo	7/12/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Derivación Monofásica	122314	415878	Vía San Lorenzo	7/12/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Derivación Monofásica	122977	415866	Entrada Vieja	7/12/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	122993	415854	Lila Principal	7/12/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Transformador de 37.5 kVA	123004	25686	Lila Principal	7/12/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Lazos Aéreos	123022	462472	Lila Principal	7/12/2024	DIFERENCIA DE TEMPERATURA EN CONECTOR DE PUENTE AREO DE LINEA DE MEDIO VOLTAJE DE LA FASE "C" CIRCUITO No.3	LIMPIEZA, REAJUSTE SUSTITUCION	O Inmediata
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	123037	462027	A Baboso	7/12/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Puentes Aéreos	123879	501593	A Baboso	7/12/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Portafusibles Principales	123092	34736	A Baboso	7/12/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Portafusible Línea Monofásica	123100	214322	A Baboso	7/12/2024	Operación Normal		
Julio	Zona III	La Carolina	Alimentador 3	Reconector	123115	6407	A Baboso	7/12/2024	Operación Normal		