



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

**ANÁLISIS TERMOGRAFIKO PARA LA DETECCIÓN DE ANOMALÍAS EN
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN**

Profesor guía: Sr. José Gómez Vega

Gabriel Eduardo Paez Oviedo

Copiapó, Chile 2024.



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

**ANÁLISIS TERMOGRÁFICO PARA LA DETECCIÓN DE ANOMALÍAS EN
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero de Ejecución en Electricidad

Profesor guía: Sr. José Gómez Vega

Gabriel Eduardo Paez Oviedo

Copiapó, Chile 2024.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mis padres, Wilfredo y Elizabeth, quienes con su amor, esfuerzo y sabios consejos me han guiado en cada paso de mi vida. Su ejemplo de dedicación y perseverancia ha sido la fuerza que me impulsó a alcanzar este logro. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por estar siempre a mi lado.

A mis profesores y compañeros de la Universidad de Atacama, quienes con su conocimiento, apoyo y experiencias compartidas han enriquecido mi formación personal y profesional. Este proyecto no habría sido posible sin el ambiente de aprendizaje y camaradería que encontré en esta institución.

A todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron a este proceso, ya sea con palabras de aliento, enseñanzas o simplemente estando presentes. Su impacto ha dejado una huella imborrable en este camino.

Atte.

Gabriel Eduardo Paez Oviedo

INDICE

CAPÍTULO I	1
MARCO INTRODUCTORIO	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación del problema.....	3
1.4. Alcance.....	3
1.4.1. Técnicas de Monitoreo de Condición	4
1.4.2. Frecuencia de Inspección y Monitoreo Continuo	4
1.4.3. Evaluación de Resultados y Mejora Continua	4
1.4.4. Limitaciones del alcance	4
1.5. Objetivo general	5
1.6. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II	6
PRINCIPIOS BASICOS DE LA TERMOGRAFIA INFRAROJA	6
2.1. Termografía.....	6
2.2. Normas ISO en Termografía Infrarroja.....	7
2.2.1. ISO 18434-1:2008	7
2.2.2. ISO 18436-1:2004.....	7
2.2.3. ISO 18436-7:2008.....	7
2.2.4. ISO 9712:2005	7
2.3. Fundamentos de la Termografía Infrarroja	8
2.4. Principios de la Termografía.....	8
2.5. Qué detectan las cámaras infrarrojas.....	9

2.6.	Emisividad.....	9
2.7.	Factores que afectan la Emisividad.....	9
2.7.1.	Material	10
2.7.2.	Estructura de la superficie	10
2.7.3.	Geometría.....	10
2.7.4.	Ángulo.....	10
2.7.5.	Temperatura	11
2.7.6.	Longitud de onda.....	11
2.7.7.	Tablas de emisividad.....	11
2.8.	Tipo de termografía.....	12
2.8.1.	Termografía Cualitativa	12
2.8.2.	Termografía Cuantitativa	12
2.9.	Objetivos de la termografía.....	13
2.10.	Beneficios de la Termografía en el Mantenimiento Predictivo.....	13
2.11.	Fundamentos del mantenimiento predictivo y el uso de termografía	14
2.12.	Aplicación de la Termografía en el Mantenimiento Predictivo	14
2.12.1.	Inspecciones Eléctricas	15
2.12.2.	Inspecciones Mecánico:	18
2.13.	Ventajas de la termografía.....	20
2.14.	Tabla de Prioridades de Anomalías Detectadas por Termografía.....	20
2.15.	Cámara termográfica	21
2.16.	Líneas de Alimentación de Media Tensión.....	22
2.17.	Componentes Principales de una Línea de Media Tensión.....	22
2.17.1.	Conductores.....	22

2.17.2.	Aisladores	23
2.17.3.	Estructuras	24
2.17.4.	Prensas Paralelas	25
2.17.5.	Equipos de Protección	26
2.18.	Mantenimiento	26
2.19.	Importancia del mantenimiento.....	27
2.20.	Tipos de mantenimientos	27
2.20.1.	Mantenimiento correctivo	27
2.20.2.	Mantenimiento preventivo	27
2.20.3.	Mantenimiento predictivo	27
2.21.	Mantenimiento predictivo y sus principios	28
2.22.	Técnicas de monitoreo de condición	28
2.23.	Contaminación Ambiental y Efectos en Componentes Eléctricos.....	29
2.24.	Contaminación y descargas	29
2.25.	Efecto Corona.....	30
2.26.	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	30
2.22.1.	Funciones	31
2.22.2.	Fallas Funcionales	31
2.22.3.	Modos de Falla	31
2.22.4.	Efectos de Falla	31
CAPÍTULO III		32
DESARROLLO DE MODELO MANTEMINIEN TO PREDICTIVO.....		32
3.1.	Definición General del Sistema.....	32
3.2.	Análisis de los datos obtenidos a través de termografía infrarroja.	33

3.2.1.	Componentes Analizados y Mediciones Realizadas	33
3.3.	Datos Obtenidos a través de Termografía Infrarroja.....	34
3.3.1.	Método de Inspección.	34
3.3.2.	Técnica de Proyección	39
3.4.	Reporte de Falla en Aislador y Gestión de Anomalía.....	40
3.4.1.	Resumen del Evento.....	40
3.4.2.	Mediciones Relacionadas	41
3.4.3.	Acciones Tomadas	42
3.4.4.	Análisis de la Falla	43
3.4.5.	Recomendaciones.....	43
3.5.	Estrategias de Inspección Actual Semestral.....	44
3.5.1.	Frecuencia de inspección	44
3.6.	Modelo Propuesto: Inspecciones Trimestrales (4 por año).....	45
3.6.1.	Integración con SAP:	45
3.6.2.	Planificación de Inspecciones:	45
3.6.3.	Registro de Mediciones:.....	45
3.6.4.	Generación de Alertas:	45
3.6.5.	Reportes Automatizados:	46
3.7.	Actividades Realizadas en Cada Inspección Termográfica propuesta.....	46
3.7.1.	Captura de Termograma:.....	46
3.7.2.	Uso del Software FLIR Thermal Studio:	47
3.7.3.	Registro en SAP:	48
3.7.4.	Seguimiento de Componentes Críticos:	48
3.7.5.	Generación de avisos para seguimiento de condición.....	48

3.7.6.	Generación de avisos para Limpieza Preventiva:	49
3.8.	Beneficios del Modelo Propuesto	50
3.8.1.	Mayor Frecuencia, Mayor Precisión	50
3.8.2.	Proyecciones de Tendencias Térmicas:.....	51
3.8.3.	Optimización de Costos	51
3.8.4.	Planificación Eficiente de Paradas:	52
3.8.5.	Eficiencia en Recursos:	52
CAPITULO IV		53
INPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM).....		53
4.1.	Análisis de Modos y Efectos de Fallo (FMEA)	53
4.1.1.	Componentes Críticos Analizados	53
4.1.2.	Metodología del FMEA	53
4.1.3.	Tabla Resumen del FMEA.....	55
CAPÍTULO V.....		57
DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN		57
5.1.	Propuesta de mejora de la frecuencia de inspección	57
5.1.1.	Frecuencia actual.....	57
5.1.2.	Propuesta de mejora	57
5.1.3.	Justificación de la mejora:.....	58
5.1.4.	Implementación:.....	58
5.2.	Desarrollo de un plan de mantenimiento predictivo basado en la condición.....	59
5.2.1.	Componentes críticos para evaluar	59
5.2.2.	Procedimientos:	60

5.2.3.	Cronograma de mantenimiento	60
5.2.4.	Beneficios del enfoque propuesto	61
5.3.	Implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para los componentes críticos de la línea.....	61
5.3.1.	Filosofía del RCM.....	61
5.3.2.	Identificación de componentes críticos	62
5.3.3.	Modos de falla analizados	62
5.3.4.	Estrategias de mitigación	63
5.3.5.	Herramientas de soporte.....	64
5.4.	Indicadores clave de desempeño (KPI)	64
5.4.1.	Cálculo de la Tasa Media Entre Fallas (TMEF)	65
5.4.2.	Cálculo de la Tasa Media para Reparación (TMPR)	66
5.4.3.	Cálculo de la Confiabilidad (R(t)).....	67
5.4.4.	Cálculo de la Mantenibilidad (M(t))	68
5.4.5.	Cálculo de la Disponibilidad (D(t)).....	69
5.4.6.	Resultados del Análisis.	70
	CAPÍTULO 6.....	72
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
6.1.	Conclusión.....	72
6.2.	Recomendaciones.....	73
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	75
	ANEXO A	77
	INFORMES DE TERMOGRAFIAS.....	77
	ANEXO B	86
	INSTRUCTIVO DE MEDICIÓN DE TERMOGRAFIA	86

INDICE DE FIGURA

Figura N° 2. 1 Anomalía Térmica en conexión de línea.....	6
Figura N° 2. 2 Las cámaras infrarrojas detectan la luz infrarroja	9
Figura N° 2. 3 Conexión defectuosa en bornera	16
Figura N° 2. 4 Soltura de conexión breaker	16
Figura N° 2. 5 Desbalance de carga de conductores.....	17
Figura N° 2. 6 Soltura de perno de barra CCM	17
Figura N° 2. 7 Temperatura anormal en descanso de polea.....	18
Figura N° 2. 8 Falta de lubricación en rodamiento	19
Figura N° 2. 9 Desgaste de polea por acumulación de material	19
Figura N° 2. 10 Parte de una cámara termográfica	21
Figura N° 2. 11 Imagen térmica aisladores.....	23
Figura N° 2. 12 Estructura de línea alimentación 23[Kv].....	24
Figura N° 2. 13 Imagen térmica prensas paralela	25
Figura N° 2. 14 Imagen térmica pararrayo	26
Figura N°3. 1 Ubicación de las estructuras.....	32
Figura N°3. 2 Imagen termográfica estructura 58 línea alimentación puerto	35
Figura N°3. 3 Falla de Aislador	40
Figura N°3. 4 Informe de Falla de Aisladores	41
Figura N°3. 5 Orden de Mantenimiento fuera de programa.....	42
Figura N°3. 6 Programa de Análisis en línea FLIR IGNITE.....	47
Figura N°3. 7 Software FLIR Thermal Studio para edición.	47

INDICE DE TABLA

Tabla N° 2. 1 Prioridades de anomalías térmicas	21
Tabla N° 3. 1 Prioridades de anomalías térmicas	48
Tabla N° 3. 2 Listados de avisos de seguimiento	49
Tabla N° 4. 1 Resumen del FMEA	55
Tabla N° 4. 2 Resumen del FMEA	56

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación N°3. 1 Calculo delta Temperatura.....	50
Ecuación N°4 - 1 TMEF	66
Ecuación N°4 - 2 TMPR	66
Ecuación N°4 - 3 Confiabilidad	67
Ecuación N°4 - 4 Mantenibilidad.....	68
Ecuación N°4 - 5 Disponibilidad	69

RESUMEN

La confiabilidad y el mantenimiento de las líneas de alimentación eléctrica son esenciales para garantizar la continuidad operativa de los sistemas críticos. Este trabajo se enfoca en la optimización del mantenimiento predictivo de la línea de alimentación de 23 kV del Puerto Punta Totoralillo, clave para las operaciones de filtrado, apilamiento y embarque de concentrado de hierro. Las condiciones ambientales agresivas, como la alta salinidad y contaminación marítima, incrementan el riesgo de fallas en componentes críticos, lo que motivó el desarrollo de este proyecto. El objetivo principal fue diseñar e implementar un modelo de mantenimiento predictivo que integra termografía infrarroja y el uso de herramientas avanzadas como la cámara FLIR T540, el software FLIR Thermal Studio y el sistema SAP PM. Este modelo permitió un análisis detallado de las condiciones térmicas de los componentes y la planificación de inspecciones trimestrales, mejorando la detección temprana de fallas y la gestión de intervenciones preventivas. Los equipos y herramientas necesarios para el monitoreo se encuentran disponibles y fueron utilizados para llevar a cabo un análisis de las estructuras. Sin embargo, se identificó la necesidad de mejorar las frecuencias de inspección y profundizar en el análisis de componentes críticos mediante el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). A lo largo del trabajo, se abordan las características y condiciones de los principales elementos, como aisladores, conductores y sistemas de protección, complementando el análisis con directrices normativas para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados. El documento incluye capítulos que abordan los fundamentos teóricos de la termografía infrarroja, la metodología aplicada para el mantenimiento predictivo y la descripción del modelo propuesto. Además, se presenta un análisis de los datos obtenidos y las estrategias implementadas, enfocadas en la mejora continua y la sostenibilidad operativa. Este trabajo proporciona un enfoque práctico y replicable para el mantenimiento predictivo en líneas de alimentación eléctrica, contribuyendo a la continuidad y eficiencia de los sistemas eléctricos críticos expuestos a condiciones ambientales adversas.

TERMOGRAFÍA - MANTENIMIENTO PREDICTIVO - CONFIABILIDAD

ABSTRACT

The reliability and maintenance of electrical power lines are essential to ensure the operational continuity of critical systems. This work focuses on optimizing predictive maintenance for the 23 kV power line at Puerto Punta Totoralillo, which is key to filtering, stacking, and shipping iron ore concentrate. Aggressive environmental conditions, such as high salinity and maritime contamination, increase the risk of failures in critical components, which motivated the development of this project. The primary objective was to design and implement a predictive maintenance model integrating infrared thermography and advanced tools such as the FLIR T540 camera, FLIR Thermal Studio software, and the SAP PM system. This model enabled a detailed analysis of the thermal conditions of components and the planning of quarterly inspections, improving early failure detection and the management of preventive interventions.

The necessary monitoring equipment and tools are available and were used to perform an in-depth analysis of the structures. However, the need to enhance inspection frequencies and delve deeper into analyzing critical components through Reliability-Centered Maintenance (RCM) was identified. Throughout the work, the characteristics and conditions of the main elements, such as insulators, conductors, and protection systems, are addressed, complementing the analysis with regulatory guidelines to ensure the precision and reliability of the results.

The document includes chapters covering the theoretical foundations of infrared thermography, the methodology applied for predictive maintenance, and the description of the proposed model. It also presents an analysis of the data obtained and the strategies implemented, focusing on continuous improvement and operational sustainability. This work provides a practical and replicable approach for predictive maintenance of electrical power lines, contributing to the continuity and efficiency of critical electrical systems exposed to adverse environmental conditions.

THERMOGRAPHY - PREDICTIVE MAINTENANCE - RELIABILITY

CAPÍTULO I

MARCO INTRODUCTORIO

El presente trabajo aborda la optimización del mantenimiento predictivo en la línea de alimentación de 23 kV del Puerto Punta Totoralillo, una infraestructura esencial para las operaciones de apilamiento y embarque de concentrado de hierro. Esta línea enfrenta desafíos derivados de su entorno marítimo, caracterizado por altos niveles de salinidad y contaminación ambiental, lo que incrementa el riesgo de fallas en componentes críticos como aisladores, conductores y equipos de protección.

El proyecto es relevante porque propone soluciones actualizadas y tecnológicamente avanzadas, como el uso de termografía infrarroja y herramientas de análisis de condición, para abordar problemas recurrentes y garantizar la continuidad operativa del sistema. La implementación de este modelo no solo mejora la confiabilidad del puerto, sino que también establece un marco replicable para otras instalaciones con condiciones similares.

El estudio analiza las limitaciones del mantenimiento tradicional semestral y presenta un modelo basado en inspecciones trimestrales, utilizando la cámara FLIR T540 y el software FLIR Thermal Studio, integrados en el sistema SAP. La metodología incluye el análisis de datos históricos, la identificación de patrones térmicos y la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para desarrollar estrategias efectivas de intervención.

A lo largo del trabajo se abordan los fundamentos teóricos de la termografía, la descripción técnica de los componentes de la línea, y los beneficios del modelo propuesto en términos de eficiencia, sostenibilidad y productividad. Este documento pretende servir como guía técnica y práctica para la implementación de estrategias avanzadas de mantenimiento predictivo en sistemas eléctricos expuestos a condiciones ambientales adversas.

1.1. Antecedentes

La línea de alimentación de 23 kV en el Puerto Punta Totoralillo es crucial para las operaciones de filtrado de concentrado, apilamiento y embarque de concentrado de hierro, alimentando equipos esenciales como motores eléctricos y correas transportadoras. Su

confiabilidad es vital para evitar paradas no planificadas que interrumpan la carga y exportación del mineral. Actualmente, el mantenimiento se realiza semestralmente, pero las condiciones ambientales, como la alta salinidad del mar, afectan la integridad de los componentes eléctricos, acelerando la corrosión y el desgaste. Esto aumenta el riesgo de fallas imprevistas, lo que eleva los costos de reparación y reduce la disponibilidad de la línea.

Se ha identificado la necesidad de un plan de mantenimiento predictivo más robusto, que incluya monitoreo en tiempo real y detección temprana de problemas. La termografía infrarroja se destaca como una técnica eficaz para identificar anomalías térmicas, mientras que el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) proporciona un marco para analizar modos de falla y desarrollar estrategias específicas. Estas medidas buscan mejorar la confiabilidad y prolongar la vida útil del sistema eléctrico en el puerto.

1.2. Planteamiento del problema

Actualmente, el modelo de mantenimiento aplicado a la línea de alimentación se basa en inspecciones semestrales que, aunque han permitido gestionar las fallas más críticas, presentan limitaciones importantes en cuanto a la detección temprana de. Estas limitaciones pueden dar lugar a interrupciones no planificadas, reduciendo la disponibilidad operativa del sistema y afectando directamente la productividad del puerto. Además, las fallas recurrentes en componentes críticos, como aisladores y conductores, han evidenciado la necesidad de estrategias más robustas y dinámicas que garanticen la confiabilidad del sistema.

El sistema de respaldo eléctrico del puerto, compuesto por generadores de emergencia, no tiene la capacidad de sostener la operación completa de la planta. Durante interrupciones en el suministro eléctrico, estos generadores solo pueden mantener el proceso de filtrado de concentrado, dejando fuera de operación los sistemas del área de embarque las cuenta con correas transportadoras y Cargador de nave. Esta situación genera una dependencia crítica de la línea de 23 kV para garantizar la continuidad de las operaciones de exportación

El planteamiento del problema radica en cómo desarrollar e implementar un modelo de mantenimiento predictivo que permita mejorar los indicadores clave de desempeño del

sistema, como la confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, asegurando la continuidad operativa del puerto y minimizando los costos asociados a fallas no planificadas. Este proyecto busca responder a esta necesidad mediante un enfoque técnico integral, combinando tecnologías predictivas, análisis basado en condición y una gestión proactiva de los activos eléctricos del puerto.

1.3. Justificación del problema

La línea de alimentación de 23 kV del Puerto Punta Totoralillo es un componente crítico para garantizar la continuidad de las operaciones productivas de la Compañía Minera del Pacífico S.A., especialmente al filtrado, apilamiento y embarque de concentrado de hierro. Sin embargo, su exposición a condiciones ambientales, como alta salinidad, humedad y contaminación ambiental, incrementa el riesgo de deterioro y fallas en sus componentes eléctricos. Estas fallas no solo afectan la confiabilidad del sistema, sino que también impactan directamente en la productividad y sostenibilidad económica del puerto.

El modelo de mantenimiento actual, basado en inspecciones semestrales, ha demostrado ser insuficiente para abordar de manera proactiva los desafíos operativos de esta infraestructura. Las limitaciones en la frecuencia de inspecciones y el monitoreo continuo dificultan la detección temprana de anomalías térmicas y la implementación de medidas correctivas oportunas. Esto puede generar fallas inesperadas, aumentando los tiempos de inactividad y los costos asociados a reparaciones no planificadas.

La implementación de un modelo de mantenimiento predictivo basado en termografía infrarroja y análisis de condición no solo permitirá mejorar los indicadores clave de desempeño, como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y la disponibilidad operativa, sino que también reducirá los costos asociados a fallas no planificadas. Al incrementar la frecuencia de inspecciones de semestrales a trimestrales, se potenciará la capacidad de detección temprana de anomalías, minimizando el impacto de las condiciones ambientales adversas en los componentes de la línea.

1.4. Alcance

El proyecto de mantenimiento predictivo se extiende a la operación completa de la planta en el Puerto Punta Totoralillo, donde la línea de alimentación de 23 kV juega un

papel fundamental en la continuidad operativa de los procesos de apilamiento, filtrado y embarque de concentrado de hierro. El alcance incluye:

1.4.1. Técnicas de Monitoreo de Condición

El plan utilizará técnicas avanzadas de monitoreo de condición, tales como la termografía infrarroja para detectar puntos calientes y sobrecalentamiento, y el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para definir estrategias de mantenimiento específico para cada equipo. Estas técnicas permitirán detectar problemas incipientes en todos los equipos críticos, anticipando fallas que podrían interrumpir las operaciones de la planta.

1.4.2. Frecuencia de Inspección y Monitoreo Continuo

Se establecerá una frecuencia de inspección más frecuente y adaptativa, en respuesta a las condiciones ambientales y al desgaste observado en los componentes. Además, se implementará un monitoreo continuo para equipos de alta criticidad, asegurando un seguimiento constante de las condiciones de los activos y permitiendo intervenir de manera oportuna en caso de detectar anomalías.

1.4.3. Evaluación de Resultados y Mejora Continua

El proyecto también contempla la implementación de un sistema de evaluación continua de resultados. Se registrarán los datos obtenidos de las inspecciones predictivas, lo que permitirá identificar patrones de desgaste y ajustar el plan de mantenimiento en función de los hallazgos. Esto contribuirá a una mejora continua del plan, optimizando su efectividad y adaptándose a las condiciones cambiantes del entorno.

1.4.4. Limitaciones del alcance

Este proyecto está enfocado en el monitoreo predictivo de la línea de 23 kV. No incluye intervenciones correctivas mayores ni reemplazos completos de equipos, aunque los datos recolectados podrán indicar la necesidad de acciones correctivas específicas en el futuro.

1.5. Objetivo general

Optimizar el mantenimiento predictivo de la línea de alimentación de 23 kV en el Puerto Punta Totalillo, mejorando la frecuencia de inspección mediante termografía infrarroja.

1.6. Objetivos específicos

- Analizar los datos obtenidos mediante termografía infrarroja.
- Determinar la influencia de la contaminación ambiental.
- Desarrollar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).
- Proponer la implementación de un plan integral de mantenimiento predictivo.

CAPÍTULO II

PRINCIPIOS BASICOS DE LA TERMOGRAFIA INFRAROJA

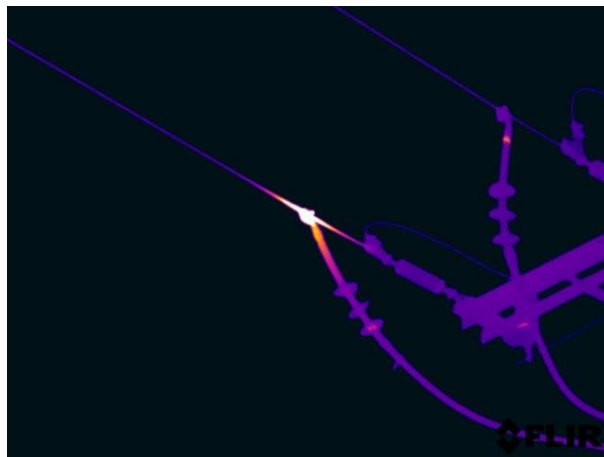
El presente capítulo establece las bases conceptuales y técnicas que sustentan el desarrollo del proyecto. Se abordan los principios del mantenimiento predictivo, las técnicas de monitoreo de condición y el uso de la termografía infrarroja como herramienta clave para la detección de anomalías térmicas en sistemas eléctricos.

2.1. Termografía

La Termografía Infrarroja es una técnica ampliamente utilizada en el ámbito industrial para medir y visualizar, a distancia y sin contacto, las temperaturas de una superficie con alta precisión, facilitando el análisis de condiciones en sistemas eléctricos y mecánicos.

El ojo humano no puede observar la radiación infrarroja que emite un objeto cuando alcanza cierta temperatura. Por esta razón, se requiere el uso de cámaras termográficas, como la FLIR T540, que permiten captar esta energía a través de sensores infrarrojos especializados. Esto posibilita determinar la energía radiante emitida por los objetos y establecer la temperatura de la superficie desde una distancia segura y en tiempo real.

Figura N° 2. 1 Anomalía Térmica en conexión de línea



2.2. Normas ISO en Termografía Infrarroja

La implementación de termografía infrarroja en sistemas eléctricos, como la línea de alimentación de 23 kV del Puerto Punta Totoralillo, requiere alinearse con estándares internacionales para garantizar precisión, seguridad y resultados consistentes. En este contexto, las normas ISO proporcionan directrices fundamentales que respaldan las mejores prácticas en el uso de esta tecnología. Entre las normas más relevantes se encuentran:

2.2.1. ISO 18434-1:2008

Esta norma introduce la termografía infrarroja como herramienta para la supervisión y diagnóstico de maquinaria, incluyendo equipos eléctricos, válvulas y sistemas de intercambio de calor. Establece procedimientos generales para la medición de temperaturas, la evaluación de anomalías térmicas y la generación de criterios de severidad, así como recomendaciones para la seguridad durante la inspección.

2.2.2. ISO 18436-1:2004

Define los requisitos de certificación y formación del personal que realiza actividades de supervisión y diagnóstico de condición de máquinas. Esta norma asegura la competencia técnica en la identificación de fallas y en la recomendación de acciones correctivas.

2.2.3. ISO 18436-7:2008

Específica para el uso de termografía infrarroja, detalla los niveles de clasificación del personal capacitado, los métodos de evaluación y las competencias necesarias para realizar análisis térmicos en equipos eléctricos. Este estándar promueve la estandarización en la interpretación de datos termográficos.

2.2.4. ISO 9712:2005

Proporciona los lineamientos para la calificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos (END), incluyendo la termografía infrarroja. Esta norma asegura que los operadores cuenten con las habilidades necesarias para realizar análisis confiables.

Estas normas son esenciales para garantizar que las actividades de mantenimiento predictivo basadas en termografía infrarroja cumplan con los más altos estándares de calidad y seguridad, lo que permite una implementación eficaz y alineada con las mejores prácticas internacionales.

2.3. Fundamentos de la Termografía Infrarroja

La termografía infrarroja es una técnica que permite medir y visualizar la distribución de temperatura en la superficie de los objetos mediante la captura de la radiación infrarroja que emiten. Todos los objetos con una temperatura superior al cero absoluto emiten radiación infrarroja, y las cámaras termográficas son capaces de capturar esa radiación para generar una imagen térmica o termograma, donde las diferencias de temperatura se representan mediante colores. Esta herramienta es invaluable en el mantenimiento predictivo porque puede detectar anomalías térmicas que normalmente no son visibles a simple vista.

2.4. Principios de la Termografía

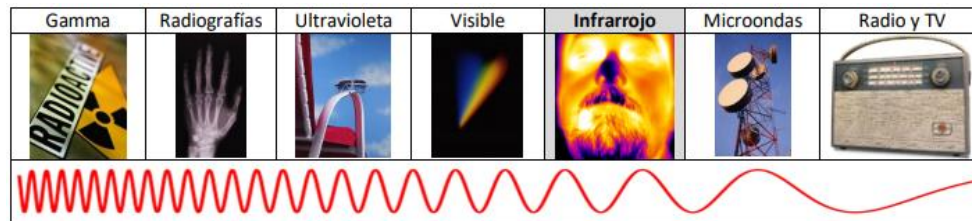
Los principios fundamentales de la termografía infrarroja se basan en la Ley de Planck y la Ley de Stefan-Boltzmann, que describen la relación entre la temperatura de un objeto y la cantidad de radiación infrarroja que emite. A medida que la temperatura de un objeto aumenta, emite más radiación infrarroja, lo que permite que las cámaras termográficas detecten las variaciones térmicas.

Para que la medición sea precisa, es importante considerar la emisividad del objeto, que es la capacidad de un material para emitir radiación infrarroja. Los materiales con alta emisividad (como metales oxidados o materiales no metálicos) emiten radiación de manera más eficiente que los materiales con baja emisividad (como superficies pulidas o metálicas), por lo que es necesario ajustar la configuración de la cámara para obtener lecturas precisas.

2.5. Qué detectan las cámaras infrarrojas

El infrarrojo es parte del espectro electromagnético, que incluye luz visible, ondas de radio, microondas, rayos X, rayos gamma y ultravioleta. Las cámaras infrarrojas utilizan detectores especiales que detectan solo la luz infrarroja.

Figura N° 2. 2 Las cámaras infrarrojas detectan la luz infrarroja



Fuente: Manual termografía ITC.

2.6. Emisividad

La Emisividad es la relación entre la cantidad real de radiación electromagnética emitida por un objeto en comparación con la cantidad emitida por un cuerpo negro ideal a la misma temperatura.

Un cuerpo negro emite radiación electromagnética llamada radiación de cuerpo negro. La radiación se emite de acuerdo con la Ley de Stefan-Boltzmann. Un cuerpo negro tiene dos propiedades notables:

- Es un emisor y absorbente ideal.
- Emite tanta o más energía que cualquier otro cuerpo a la misma temperatura.

Por ejemplo, si un cuerpo negro emite 100 vatios de radiación y una superficie a la misma temperatura emite 70 vatios, la emisividad de esa superficie es de 70/100 o 0.7.

2.7. Factores que afectan la Emisividad

Factores que influyen en la emisividad Hay seis factores que pueden influir en la emisividad de un objeto:

2.6.1. Material

Los metales y los no metales son tipos de superficies diferentes en lo que se refiere a la emisividad, es más fácil trabajar con los no metales porque normalmente tienen emisividades altas, a diferencia de los metales que se oxidan, los no metales no modifican su emisividad durante el transcurso del tiempo a menos que se recubra de suciedad o se desgasten.

2.6.2. Estructura de la superficie

Cuanto más áspera sea la superficie, mayor será la emisividad. Las superficies pulidas, brillantes y lisas tienen baja emisividad, mientras que las superficies arenadas, lijadas y rayadas tienen una mayor emisividad. Además de cambiar el material, la oxidación también puede cambiar la estructura de la superficie. Debemos determinar visualmente qué tan bien creemos que una superficie puede reflejarse y absorberse. Si se ve opaco, probablemente tenga una emisividad más alta, si se ve muy suave probablemente tenga una emisividad más baja. Esto suena fácil, pero no lo es. Es una cuestión de experiencia en gran medida.

2.6.3. Geometría

La geometría se refiere a la forma física del objeto, la forma en que trabaja este factor es que las cavidades, ángulos y agujeros hacen que el cuerpo comience a parecerse cada vez más al diseño de un simulador de un cuerpo negro, las múltiples reflexiones entre superficies incrementan la absorción y por lo tanto la emisividad. El factor geométrico nos puede ayudar, si es que no se puede incrementar la emisividad por ningún otro lado, pero lo que este factor no nos ayudara a medir la temperatura mejor solo puede ser conveniente para saber si hay una diferencia de temperatura.

2.6.4. Ángulo

afecta la emisividad de la superficie. Si te acercas demasiado a un ángulo de 0° en relación con tu objetivo, la emisividad comenzará a disminuir. y la superficie se volverá más reflectante. La chimenea se muestra en la Figura 9 se ve más caliente en el medio y más frío cerca de los bordes debido al menor ángulo.

2.6.5. Temperatura

La temperatura objetivo en sí misma puede influir en la emisividad. Sin embargo, es inusual, y la influencia es relativamente pequeña en la mayoría de los casos.

La emisividad de los metales puede aumentar a temperaturas muy altas. Probar los frenos, donde se desea medir la temperatura en un disco de freno en funcionamiento, representa un caso en el que cambiar la emisividad con la temperatura es un problema real. Las temperaturas pueden pasar de temperatura ambiente a 1.000 °C muy rápidamente, y eso cambiará la emisividad notablemente.

2.6.6. Longitud de onda

Una medición de emisividad realizada con una cámara puede no ser correcta para usar con otra cámara si operan en diferentes longitudes de onda. Esto se debe a que la emisividad, junto con las otras propiedades de radiación de un objeto, puede ser diferente en onda media que en onda larga. Los diferentes tipos de detectores para la misma banda de longitud de onda también podrían tener una respuesta ligeramente diferente y mostrar diferencias en la forma en que se comporta una superficie.

2.6.7. Tablas de emisividad

Las tablas de emisividad pueden o no contener información útil sobre las emisividades reales de los objetos que desea medir. Puede haber muchas variaciones dentro y entre las diferentes tablas de emisividad. Estos son algunos factores de preocupación:

- Emisividad total normal (banda ancha, perpendicular): Es la emisividad sobre una banda de onda muy ancha. Puede o no estar cerca de la emisividad real con respecto a su cámara infrarroja.
- Emisividad de onda media: Algunas tablas se enumeran como onda corta (ahora llamada onda media) o en una banda de onda corta estrecha específica. Incluso si se especifica que la emisividad está dentro de la misma banda de onda espectral que su cámara infrarroja, es posible que aún no sea tan precisa como sospecha. Esto se debe a las diferencias en la forma en que los diferentes materiales del detector responden a la energía infrarroja.

- Emisividad de onda larga: Las tablas de onda larga también pueden ser algo poco confiables por las mismas razones descritas para la onda media. Las cámaras más antiguas usaban diferentes detectores que tenían diferentes respuestas dentro de la banda de onda larga.
- Banda de onda estrecha: Una banda estrecha puede ser tan poco confiable como una banda ancha. Algunos materiales pueden tener cambios significativos en la emisividad sobre pequeñas bandas de onda.
- Temperatura: Algunas tablas tienen en cuenta la temperatura del objeto cuando se midió la emisividad. Si considera las variables mencionadas anteriormente, esto no necesariamente hace que las tablas sean más confiables.
- Condicional (áspero, liso, corroído, oxidado): Los parámetros condicionales parecen ofrecer información útil sobre las emisividades, pero a veces es bastante difícil determinar la condición de una superficie metálica mirándola. Si utiliza una tabla de emisividad para determinar la emisividad del cobre, puede encontrar valores que oscilan entre 0.05 y 0.86, dependiendo de la superficie. El cobre que parece estar muy opaco todavía puede tener una emisividad extremadamente baja.

2.8. Tipo de termografía

2.7.1. Termografía Cualitativa

La Termografía cualitativa se basa en el análisis de la imagen térmica para revelar y localizar la existencia de anomalías y evaluarlas. Con la Termografía cualitativa se puede utilizar la imagen para encontrar y evaluar posibles problemas. Cuando se realizan análisis cualitativos se observa y analiza de manera rápida la imagen para detectar posibles problemas. Si hay algo sospechoso se analiza con mayor detalle.

2.7.2. Termografía Cuantitativa

La Termografía cuantitativa utiliza la medida de temperatura como criterio para determinar la gravedad de un problema y así establecer la prioridad de su reparación. Cuando se localiza una anomalía nos gustaría saber cuál es su gravedad, normalmente no se tiene bastantes recursos para tratar de reparar todos los problemas que se encuentran si ese fuera el caso la Termografía cualitativa sería suficiente y la medida de temperatura no

sería realmente necesaria. Este tipo de Termografía nos proporciona criterios de severidad para determinar la gravedad del problema, otros criterios incluyen carga, equipo, importancia en el proceso de producción, seguridad y factores ambientales como la velocidad del viento

2.9. Objetivos de la termografía.

La termografía tiene varios objetivos clave en el contexto del mantenimiento predictivo, especialmente en entornos industriales como el Puerto Punta Totoralillo, donde la fiabilidad de los equipos eléctricos es crucial para evitar interrupciones en el proceso de apilamiento y embarque de concentrado de hierro. Entre los principales objetivos de la termografía están:

- **Detección Temprana de Fallas:** Identificar anomalías térmicas en equipos antes de que causen fallos graves. Esto incluye la detección de sobrecalentamientos en motores eléctricos, conexiones defectuosas en tableros eléctricos y problemas en componentes como contactores e interruptores automáticos (breakers).
- **Monitoreo Continuo del Rendimiento:** Permitir un monitoreo periódico y no invasivo de los equipos en operación, lo que facilita la planificación de mantenimientos basados en la condición real de los equipos, en lugar de utilizar únicamente intervalos de tiempo establecidos.
- **Aumento de la Eficiencia Operativa:** Minimizar los tiempos de inactividad al realizar intervenciones en el momento óptimo, evitando fallas catastróficas que podrían detener la operación del puerto.

2.10. Beneficios de la Termografía en el Mantenimiento Predictivo

En el contexto del Puerto Punta Totoralillo, donde los sistemas de transporte y control de concentrado de hierro son esenciales, la termografía ofrece varias ventajas clave:

- **Detección temprana de fallas:** La termografía permite identificar áreas de sobrecalentamiento en motores eléctricos, contactores y disyuntores, que podrían ser indicativos de conexiones flojas, aislamiento dañado o sobrecarga de circuitos. Estos problemas pueden ser diagnosticados antes de que se conviertan en fallos catastróficos.

- **Monitoreo sin contacto:** La naturaleza no invasiva de la termografía permite realizar inspecciones sin detener la operación de los equipos, lo que evita interrupciones en los procesos críticos.
- **Análisis integral:** La termografía no solo detecta problemas en los motores eléctricos, sino que también es útil para identificar problemas en los sistemas de control asociados (cubículos, contactores, interruptores automáticos), que son esenciales para la seguridad y continuidad operativa.

2.11. Fundamentos del mantenimiento predictivo y el uso de termografía

El uso de la termografía en el mantenimiento predictivo se basa en la detección de patrones térmicos que revelan el estado de los componentes eléctricos. Los fundamentos de esta técnica se basan en los principios de radiación térmica y en la relación entre temperatura y condición del material. En sistemas eléctricos, los puntos calientes pueden ser indicadores de conexiones sueltas, sobrecarga, aislamiento deteriorado o un mal contacto. Los beneficios del uso de termografía incluyen:

- **Evaluación Rápida y No Invasiva:** Permite inspeccionar equipos en funcionamiento sin necesidad de detener su operación.
- **Monitoreo de Componentes Críticos:** Facilita el seguimiento de los componentes eléctricos más sensibles y propensos a fallas.
- **Detección de Problemas Ocultos:** Identifica fallas que podrían no ser visibles o detectables por otros métodos de inspección

2.12. Aplicación de la Termografía en el Mantenimiento Predictivo

La termografía se ha convertido en una herramienta clave para el mantenimiento predictivo en entornos industriales. Su capacidad para detectar de manera temprana problemas en equipos eléctricos, como motores eléctricos, contactores e interruptores automáticos (breakers), ha demostrado ser crucial para mejorar la confiabilidad operativa y reducir el riesgo de fallos inesperados.

En el caso de los motores eléctricos del Puerto Punta Totoralillo, que son responsables de mover las correas transportadoras utilizadas en el proceso de filtrado, apilamiento y embarque de concentrado de hierro, el uso de la termografía permite identificar

sobrecalentamientos, desgaste en rodamientos o conexiones defectuosas. antes de que se conviertan en fallos críticos. Asimismo, la inspección termográfica de los dispositivos de control, como contactores y disyuntores, es fundamental para detectar posibles puntos calientes o fallos que podrían interrumpir el suministro eléctrico hacia los motores.

2.11.1. Inspecciones Eléctricas

Las cámaras termográficas son herramientas fundamentales en el mantenimiento predictivo de sistemas eléctricos, ya que permiten realizar inspecciones no invasivas para identificar anomalías térmicas en equipos y componentes. Estas inspecciones se aplican a sistemas de todos los tamaños y niveles de tensión, desde baja tensión hasta alta tensión, y son particularmente útiles en entornos industriales donde la operación continua es crítica.

Con ellas es posible inspeccionar regularmente cuadros eléctricos, centros de control de motores, subestación. Además de conexiones sueltas, los sistemas eléctricos pueden presentar otros problemas comunes, como desequilibrios de carga, corrosión en los contactos y aumento en la impedancia de corriente. Estos factores no solo comprometen la seguridad de los sistemas, sino que también afectan su eficiencia operativa.

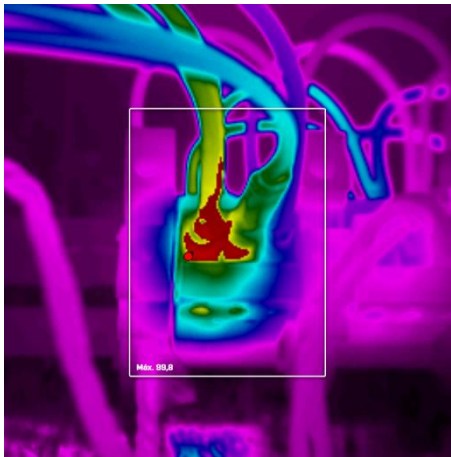
Las inspecciones térmicas permiten identificar rápidamente puntos calientes en componentes clave, evaluar.

Ejemplos de fallos en equipamiento de baja tensión que se pueden detectar con termografía:

- **Conexiones de alta resistencia:** Pueden originarse por terminales mal ajustados o deteriorados, generando sobrecalentamiento en las conexiones eléctricas.
- **Conexiones corroídas:** La oxidación y corrosión de los contactos eléctricos incrementan la resistencia y generan pérdidas energéticas.
- **Daños internos en los fusibles:** Indicadores térmicos pueden revelar fallos en fusibles que, a simple vista, parecen estar en buen estado.
- **Fallos internos en los disyuntores:** Se detectan mediante anomalías térmicas causadas por contactos defectuosos o desgaste interno.

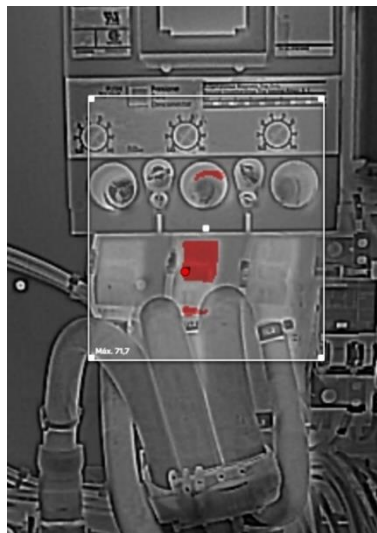
2.11.1.1. Ejemplo de imágenes en sistema eléctricos

Figura N° 2.3 Conexión defectuosa en bornera



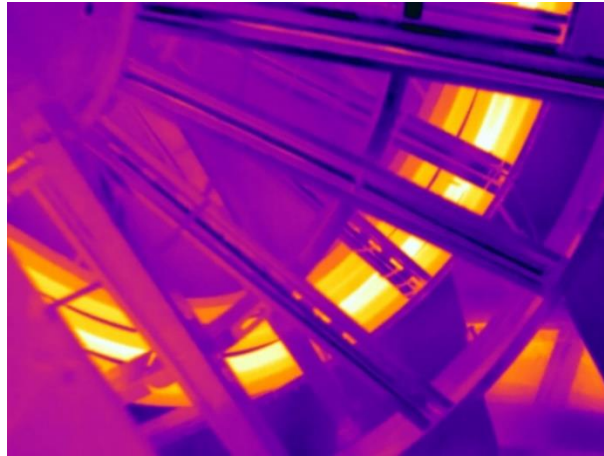
La figura N° 2.3, muestra una anomalía térmica en la zona de contacto de las borneras de conexión, evidenciada por un aumento de temperatura de 10.7 °C. Este incremento puede ser causado por un contacto inadecuado o deterioro de la conexión, lo que representa un riesgo de falla eléctrica

Figura N° 2.4 Soltura de conexión breaker



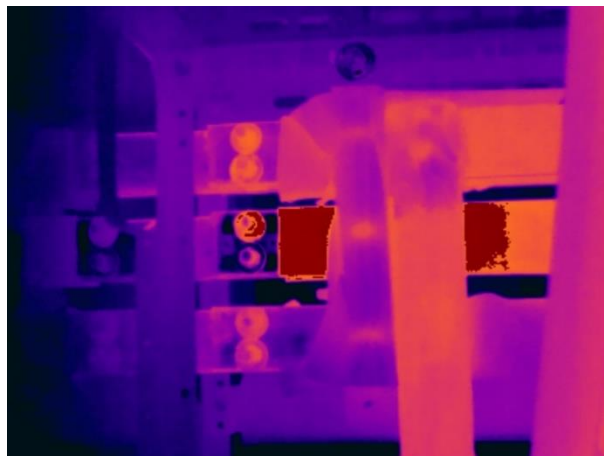
En esta figura N° 2.4 se detecta una holgura en la conexión del disyuntor, lo cual genera una resistencia adicional en el circuito, incrementando las pérdidas térmicas.

Figura N° 2. 5 Desbalance de carga de conductores



En la figura N° 2.5, la termografía revela un desequilibrio de carga en los conductores que alimentan el Centro de Control de Motores (CCM). Este desequilibrio se manifiesta en un consumo desigual de corriente entre las fases, lo que puede ocasionar un aumento de temperatura y una disminución en la vida útil de los componentes eléctricos

Figura N° 2. 6 Soltura de perno de barra CCM



En esta figura N° 2.6, la termografía infrarroja identifica un aumento de temperatura en los pernos de la barra de conexión del CCM, indicando una posible pérdida de continuidad eléctrica debido a conexiones deficientes o flojas.

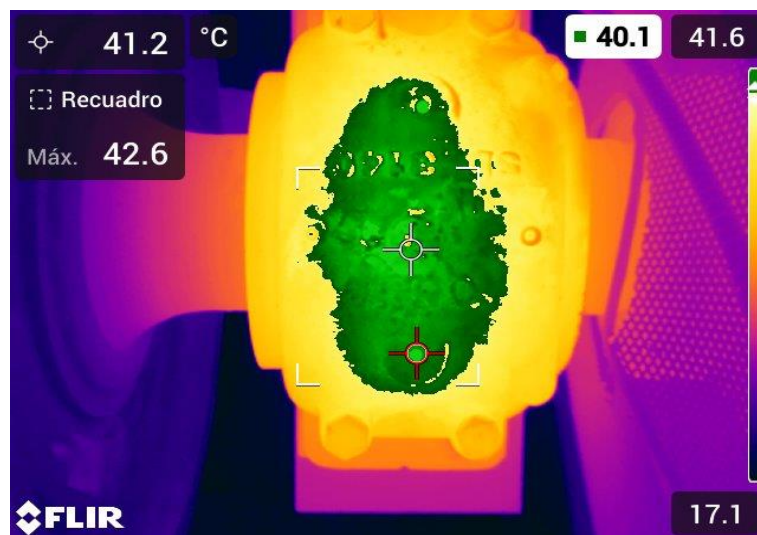
2.11.2. Inspecciones Mecánico:

Para sistemas mecánicos, el termógrafo escanea correas, cajas de engranajes, rodamientos, accionamientos de cadena, acoplamientos, sistemas de transportadores, equipos de proceso, integridad de aislamiento, sistemas hidráulicos, sistemas de tuberías, sistemas de transporte de aire, compresores de aire, bobinas de calefacción y refrigeración HVAC, equipos de calefacción, válvulas de fuga, trampas de vapor (hasta cierto punto) y sistemas de suministro de energía en general.

La termografía es una tecnología comparativa. Para los estudios eléctricos, generalmente tenemos el lujo de poder comparar fases en las mismas condiciones. Para los sistemas mecánicos, esto también es deseable, pero a menudo difícil. Con frecuencia nos quedamos atrapados con la tendencia térmica durante un período de tiempo. Una buena inspección de referencia es clave para el éxito de las tendencias.

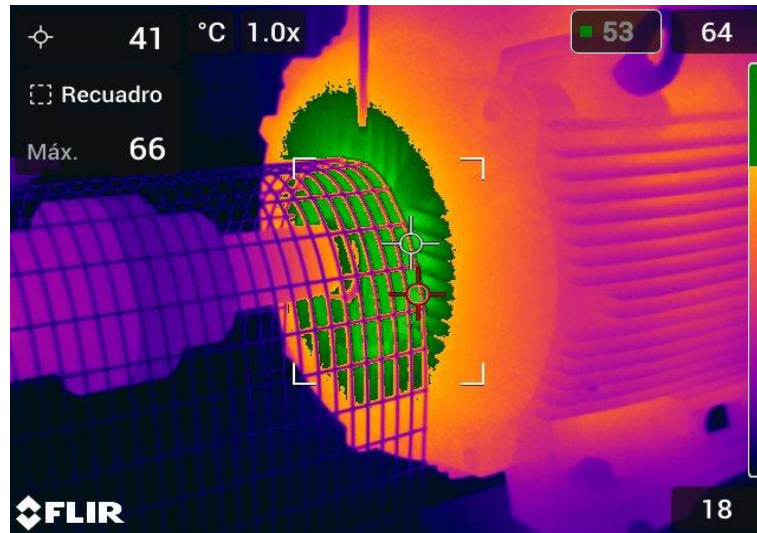
2.11.2.1. Ejemplos de imágenes en sistemas mecánicos

Figura N° 2. 7 Temperatura anormal en descanso de polea



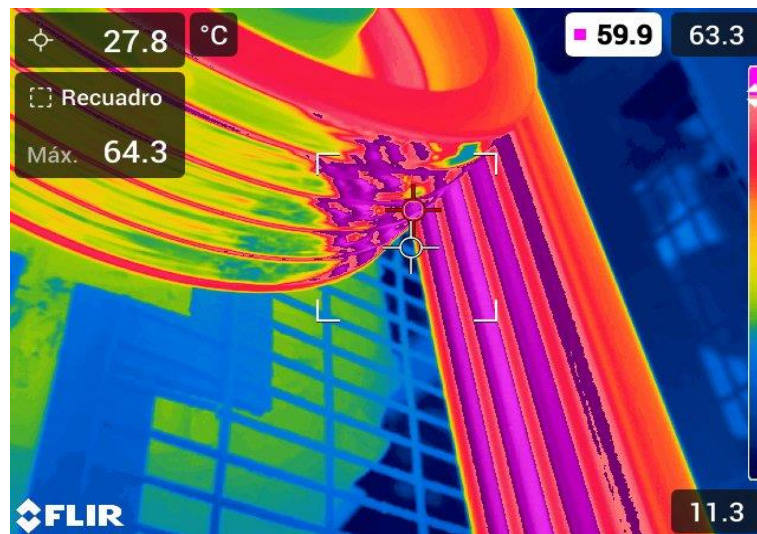
Referente a la Figura N 2.7, se visualiza temperatura anormal de pillow block, de polea motriz de correa transportadora, según registros de tendencia en el tiempo, la temperatura normal en operación es de 20°C promedio, por lo cual esta temperatura sugiere el mal ajuste de rodamientos.

Figura N° 2. 8 Falta de lubricación en rodamiento



En esta figura N° 2.8 se visualiza temperatura anormal en zona de rodamiento del motor, el cual se evidencia falta de lubricación manual con grasa polyrex

Figura N° 2. 9 Desgaste de polea por acumulación de material



En esta figura N°2.9, se visualiza desgaste de polea y correa de una bomba de pulpa, el cual genera aumento de temperatura en zonas de contacto.

2.13. Ventajas de la termografía

La termografía es una herramienta invaluable en el mantenimiento predictivo, permitiendo a las plantas industriales operar de manera continua y sin interrupciones, lo cual es esencial para la eficiencia en el funcionamiento de las instalaciones. Entre sus principales beneficios se destacan:

- **Eficiencia y Costo:** La termografía permite mayor rapidez y eficacia al menor costo, ayudando a las plantas industriales a operar sin interrupciones las 24 horas del día, 365 días al año, sin incurrir en costosas averías ni pérdidas de tiempo.
- **Responsabilidad en Mantenimiento Predictivo:** Los responsables del mantenimiento predictivo tienen la tarea de prever problemas antes de que se conviertan en averías graves, ya que los problemas ocultos pueden ser los más dañinos.
- **Detección de Problemas:** Las cámaras termográficas son herramientas ideales para detectar fallos, ya que permiten ver lo que normalmente es invisible, identificando problemas de inmediato.
- **Complemento en Mantenimiento Predictivo:** Muchas empresas integran la termografía en sus programas de mantenimiento predictivo, combinándola con otras herramientas de diagnóstico para asegurar que las plantas se mantengan operativas.

2.14. Tabla de Prioridades de Anomalías Detectadas por Termografía

La tabla de prioridades presentada clasifica las condiciones de los componentes eléctricos según la diferencia de temperatura detectada mediante termografía. Este análisis térmico se fundamenta en la comparación de la temperatura medida en un componente con respecto a su entorno o elementos adyacentes, lo que permite evaluar la severidad de las anomalías y priorizar las intervenciones correctivas.

Las diferencias de temperatura detectadas son indicativas del estado operativo de los componentes eléctricos y mecánicos. Por ejemplo, un aumento significativo en la temperatura de una conexión eléctrica puede ser un síntoma de alta resistencia debido a un mal contacto o corrosión. Estas condiciones, si no se abordan de manera oportuna, pueden derivar en fallas críticas, como cortocircuitos o incendios.

Tabla N° 2. 1 Prioridades de anomalías térmicas

Prioridad	Descripción
Prioridad Tipo 1	Componente con una diferencia mayor a 35 °C con respecto a su adyacente. REPARACIÓN INMEDIATA (Se recomienda en las próximas 48 horas).
Prioridad Tipo 2	Componente con una diferencia de temperatura entre los 10 °C y los 35 °C respecto a su adyacente. REPARACIÓN EN PARADA PROGRAMADA , (se recomienda dentro de los próximos 3 meses).
Prioridad Tipo 3	Componente con una diferencia inferior a 10 °C con respecto a su adyacente. NO ES NECESARIO REPARAR DE INMEDIATO (se recomienda realizar un seguimiento de temperatura en el equipo).

2.15. Cámara termográfica

Una cámara termográfica es un dispositivo que utiliza sensores infrarrojos para medir y visualizar la radiación térmica emitida por los objetos. Esta radiación es convertida en una imagen visual (llamada termograma) donde los diferentes colores representan distintas temperaturas superficiales. La cámara termográfica permite observar diferencias de temperatura que no son visibles a simple vista, lo que es esencial para identificar puntos calientes y otros problemas térmicos en equipos eléctricos y mecánicos.

Figura N° 2. 10 Parte de una cámara termográfica



Fuente: Manual FLIR T540

2.16. Líneas de Alimentación de Media Tensión

Las líneas de media tensión (MT) entre 1 kV y 36 kV (IEC 60038) son cruciales para llevar energía desde subestaciones hasta puntos de consumo. Pueden ser subterráneas o aéreas, siendo las aéreas más comunes por su menor costo inicial y fácil mantenimiento.

2.16.1. Diseño y Consideraciones Técnicas:

- **Capacidad de Carga:** Soportan fluctuaciones en la demanda para asegurar un suministro confiable.
- **Protección Contra Sobrecargas:** Utilizan interruptores automáticos y pararrayos para proteger contra fallas y descargas.
- **Factores Ambientales:** En zonas marítimas, la salinidad y humedad aceleran la corrosión, requiriendo diseños específicos y monitoreo constante.

2.17. Componentes Principales de una Línea de Media Tensión

Una línea aérea de media tensión incluye los siguientes elementos básicos:

2.16.1. Conductores

Los conductores son los elementos principales encargados de transportar la energía eléctrica desde el punto de generación o distribución hasta las instalaciones del puerto. Están fabricados con materiales de alta resistencia mecánica y conductividad eléctrica, como aleación de aluminio reforzado con acero. Estos materiales ofrecen una combinación ideal de ligereza y resistencia a la corrosión, lo que es crucial en ambientes marinos donde la exposición a partículas salinas puede degradar rápidamente los componentes metálicos.

- **Requisitos Técnicos:** Alta conductividad, resistencia a la corrosión y capacidad para soportar cargas eléctricas y mecánicas elevadas.
- **Desafíos Comunes:** La acumulación de sal puede generar depósitos conductivos en su superficie, aumentando las pérdidas eléctricas y el riesgo de fallas.
- **Normativa:** Los conductores deben cumplir con estándares internacionales como IEC 60889, que regula su diseño y rendimiento en sistemas eléctricos.

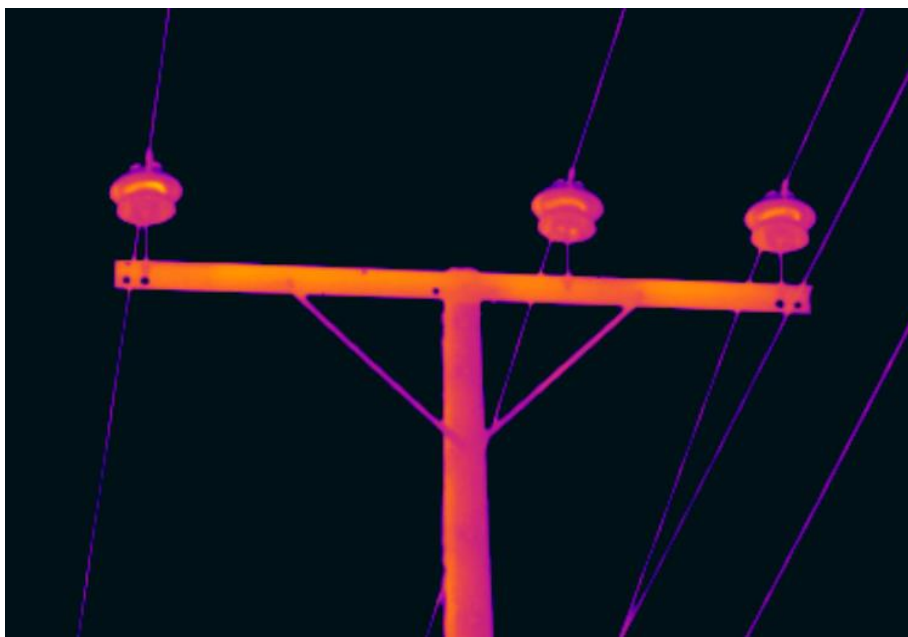
- **Mantenimiento:** Inspecciones trimestrales con termografía infrarroja para detectar puntos calientes y evitar riesgos de sobrecalentamiento

2.16.2. Aisladores

En las líneas de alta tensión o redes de transporte de energía eléctrica, los aisladores eléctricos desempeñan un papel crucial al evitar fugas de energía hacia tierra. Sin embargo, con el tiempo, estos componentes tienden a acumular una capa de contaminación que, dependiendo de las condiciones ambientales, puede comprometer su capacidad aislante. Este proceso de acumulación de contaminantes puede eventualmente generar descargas eléctricas en los aisladores, afectando su desempeño y poniendo en riesgo la confiabilidad del sistema eléctrico.

Las cadenas de aisladores son un componente importante de todas las instalaciones eléctricas. En las líneas de alta tensión los aisladores cumplen las funciones de limitar el paso de corriente solo al circuito deseado y de entregar un soporte mecánico a los cables aéreos. En las líneas de media y alta tensión se utilizan aisladores de cadena formados por discos de material aislante.

Figura N° 2. 11 Imagen térmica aisladores



2.16.3. Estructuras

Las estructuras de soporte están diseñadas para garantizar la estabilidad mecánica de los conductores y aislarlos de la tierra. En el caso de puerto punta Totalillo las 58 estructuras son de hormigón, seleccionados en función de su capacidad para resistir la corrosión y las cargas mecánicas generadas por los vientos costeros.

- **Postes de hormigón:** Diseñados para soportar cargas pesadas, con baja necesidad de mantenimiento en condiciones normales.

Figura N° 2. 12 Estructura de línea alimentación 23[Kv]



2.16.4. Prensas Paralelas

Las prensas paralelas son dispositivos de sujeción que mantienen los conductores en posición, evitando desplazamientos que puedan comprometer la estabilidad mecánica del sistema. Están fabricados con materiales tratados para resistir la corrosión, como acero inoxidable o aleación de aluminio anodizado.

- **Características clave:** Resistencia a la corrosión y diseño para soportar altas tensiones mecánicas.
- **Problemas frecuentes:** Fatiga del material y acumulación de depósitos de sal que pueden aumentar las tensiones mecánicas.

Figura N° 2. 13 Imagen térmica prensas paralela



2.16.5. Equipos de Protección

La línea está equipada con dispositivos de protección que garantizan la seguridad del sistema y evitan daños mayores ante condiciones anormales. Entre ellos se encuentran:

- **Pararrayos:** Protegen los equipos contra sobretensiones transitorias causadas por descargas atmosféricas.

Figura N° 2. 14 Imagen térmica pararrayo



2.18. Mantenimiento

El mantenimiento en general comprende todas las acciones necesarias para garantizar que los equipos y sistemas continúen funcionando dentro de los parámetros establecidos, sin interrupciones no planificadas. En este contexto, el mantenimiento predictivo adquiere especial importancia debido a su capacidad para anticipar fallas y mantener la operación continua, evitando intervenciones innecesarias y maximizando la vida útil de los equipos.

2.19. Importancia del mantenimiento

El mantenimiento predictivo se basa en la recopilación de datos reales sobre el estado de los equipos, permitiendo realizar intervenciones de manera óptima antes de que se produzca una falla. En el Puerto Punta Totoralillo, donde los motores eléctricos impulsan las correas transportadoras esenciales para el embarque de concentrado de hierro, la detección temprana de anomalías térmicas es fundamental para evitar tiempos de inactividad no planificados y costos de reparación elevados.

2.20. Tipos de mantenimientos

Dentro del marco del mantenimiento, se destacan tres tipos principales que pueden aplicarse a los equipos eléctricos del puerto:

2.19.1. Mantenimiento correctivo

Es una actividad que se realiza después de la ocurrencia de una falla. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar a los equipos después de una falla a sus condiciones originales, por medio de restauración o reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgaste, daños o roturas

2.19.2. Mantenimiento preventivo

Es la aplicación de la tecnología en el proceso de detecciones tempranas para verificar y detectar cambios de condiciones, que entregan información la cual permite conocer el estado de un elemento en un momento determinado y como ha sido su comportamiento a través del tiempo. Es decir, permite asignar los recursos de acuerdo con las necesidades de cada equipo conocidas antes de que ocurra la falla, mediante el monitoreo de la condición. El monitoreo de la condición es un proceso que consiste en medir periódicamente una o varias variables asociadas a la máquina e interpretarlas con el fin de conocer el estado en que se encuentra.

2.19.3. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es una estrategia basada en el monitoreo continuo o periódico de la condición de los equipos, permitiendo identificar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas graves. A diferencia del mantenimiento preventivo, que se realiza en intervalos de tiempo establecidos sin considerar el estado actual de los

equipos, el mantenimiento predictivo utiliza datos reales para programar intervenciones de manera óptima.

En industrias donde la operación continua es crítica, como el Puerto Punta Totoralillo, el mantenimiento predictivo es esencial para evitar tiempos de inactividad no planificados. Mediante técnicas avanzadas, como el análisis de vibraciones, análisis de aceites, ensayos no destructivos, ultrasonido y la termografía infrarroja, es posible identificar problemas en etapas tempranas, lo que permite realizar reparaciones de manera más oportuna, reduciendo los costos de mantenimiento y aumentando la disponibilidad de los equipos.

2.21. Mantenimiento predictivo y sus principios

El mantenimiento predictivo es una estrategia de gestión de activos que se enfoca en la anticipación de fallas mediante el monitoreo de las condiciones operativas de los equipos en tiempo real o en intervalos regulares. A diferencia del mantenimiento preventivo, que se realiza en base a intervalos de tiempo o uso predeterminado, el mantenimiento predictivo se basa en datos reales y en la interpretación de tendencias para tomar decisiones informadas. Los principios del mantenimiento predictivo se centran en:

- **Detección Temprana de Fallas:** Identificar señales de deterioro antes de que se conviertan en fallas graves.
- **Optimización de Intervenciones:** Realizar intervenciones solo cuando las condiciones lo ameritan, extendiendo así la vida útil de los equipos.
- **Reducción de Costos Operativos:** Minimizar los costos asociados con fallas imprevistas y mantenimientos innecesarios.

2.22. Técnicas de monitoreo de condición

El monitoreo de condición es una práctica clave dentro del mantenimiento predictivo y utiliza varias técnicas para evaluar el estado de los equipos sin interrumpir su operación. Entre las técnicas de monitoreo más relevantes se encuentran:

- **Análisis de Vibraciones:** Utilizado para detectar problemas en componentes rotativos, como cojinetes y motores, mediante la medición de patrones de vibración, y análisis de espectros

- **Análisis de Aceite:** Permite identificar contaminantes y partículas en el lubricante que podrían indicar desgaste o daño interno en los componentes.
- **Termografía Infrarroja:** Una técnica no invasiva que detecta variaciones de temperatura en los equipos eléctricos y mecánicos. Las imágenes termográficas permiten identificar puntos calientes y otros indicadores de problemas antes de que se conviertan en fallas graves.
- **Ultrasonido:** Utilizado para detectar fugas y problemas en válvulas o sistemas neumáticos e hidráulicos. Cada una de estas técnicas ofrece datos específicos y complementarios, y la elección de la técnica depende de la naturaleza del equipo y del tipo de fallo esperado.
- **Industria 4.0:** Utilizando sensores de temperatura y vibraciones las cuales se pueden ser monitoreadas en línea en tiempo real. las cuales puedes generar tendencias de temperatura, y análisis de los espectros de vibración.

2.23. Contaminación Ambiental y Efectos en Componentes Eléctricos

La contaminación ambiental, especialmente en instalaciones cercanas a zonas industriales o marítimas, puede tener un efecto negativo sobre los componentes eléctricos. Factores como el polvo, la humedad, la salinidad y agentes corrosivos generan desgaste prematuro, acumulación de partículas y fallas de aislamiento. En sistemas eléctricos de alta tensión, estos factores pueden provocar:

- **Descargas Parciales:** La presencia de humedad y partículas contaminantes facilita la formación de descargas eléctricas en el aislamiento.
- **Corrosión en Conexiones y Estructuras:** Aumenta la resistencia de las conexiones y puede conducir a calentamientos localizados.
- **Problemas de Enfriamiento:** La acumulación de polvo y partículas en superficies de enfriamiento reduce la capacidad de disipación de calor, elevando la temperatura operativa. La termografía permite identificar efectos térmicos asociados a la contaminación, ayudando a implementar acciones correctivas y preventivas.

2.24. Contaminación y descargas

Las fuentes de contaminación que pueden comprometer el sistema de aislamiento eléctrico incluyen productos industriales con sales solubles, contaminación de carreteras,

excrementos de aves, arena proveniente de desiertos o dunas, y sal marina transportada por el viento desde el agua de mar, alcanzando distancias de hasta 15-30 km tierra adentro.

Los aisladores en operación acumulan con el tiempo capas ligeras de contaminantes, que progresivamente se convierten en una costra conductora debido a las condiciones ambientales, ya sean secas o húmedas. Esta capa, aunque inicialmente delgada, puede comenzar a conducir pequeñas corrientes eléctricas de apenas unos miliamperios. Esto provoca un calentamiento en la superficie del aislador, que a su vez acelera su deterioro. Con el tiempo, este desgaste permite la formación de arcos eléctricos más intensos, que eventualmente pueden culminar en fallos graves en el sistema.

2.25. Efecto Corona

El efecto corona, también conocido como descarga corona, es un fenómeno no lineal que ocurre en las etapas iniciales de las descargas eléctricas. Este fenómeno implica un flujo de energía eléctrica desde un conductor hacia un medio ionizado.

Se caracteriza por descargas localizadas que ocurren cerca de los electrodos bajo campos eléctricos de alta intensidad. Estas descargas generan un estrés en la capacidad aislante del medio circundante, manifestándose como una luminiscencia violeta, ruido y emisiones de radiofrecuencia de alta frecuencia.

En los aisladores eléctricos, estas descargas pueden originarse dentro del aislador, en el conductor o en la interfaz entre ambos.

2.26. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

La industria de la aviación civil internacional fue la pionera en el uso de la metodología RCM, aplicándola en sus equipos para aumentar la confiabilidad de los vuelos y reducir significativamente la tasa de accidentabilidad. Este logro derivó en un incremento de los márgenes de las aerolíneas, ya que los pasajeros sintieron mayor certidumbre al tomar sus viajes. En la década de los 80, el RCM amplió su horizonte de aplicación hacia la industria, donde las maquinarias requerían un sistema que incrementara la capacidad operativa y disminuyera la frecuencia de fallas.

El mantenimiento puede definirse como la forma de asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios esperan de ellos. En este contexto, el

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) se define como un proceso estructurado para determinar las acciones necesarias que aseguren que cualquier activo físico continúe funcionando según lo requerido dentro de su contexto operacional actual. Esta definición va más allá del concepto clásico del mantenimiento, ya que incorpora elementos y principios fundamentales propios del RCM.

2.25.1. Funciones

Las funciones de un activo físico se refieren a los propósitos específicos para los cuales fue adquirido y las tareas que debe realizar dentro de los parámetros definidos. En el caso de la línea de alimentación de 23 kV, su función principal es garantizar la transmisión de energía eléctrica de forma segura y confiable, cumpliendo con parámetros como tensión y capacidad de carga.

2.25.2. Fallas Funcionales

Se define como la incapacidad del activo para cumplir su función esperada o el desempeño por debajo del nivel mínimo operacional. En la línea de alimentación de 23 kV, esto puede incluir interrupciones en el suministro eléctrico o caídas de tensión que afecten los procesos industriales críticos.

2.25.3. Modos de Falla

Un modo de falla es cualquier evento o condición que cause una falla funcional. En este caso, ejemplos incluyen contaminación en aisladores, sobrecalentamiento de conductores o fallos en conexiones mecánicas.

2.25.4. Efectos de Falla

Los efectos de falla describen las manifestaciones tangibles cuando ocurre un modo de falla. Por ejemplo, un aumento de la temperatura en los conductores puede ser una señal de conexión defectuosa, lo que podría derivar en daños mayores si no se aborda a tiempo.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE MODELO MANTEMINIENDO PREDICTIVO

El presente capítulo describe el desarrollo de un modelo de mantenimiento predictivo aplicado a la línea de alimentación de 23 kV en el Puerto Punta Totoralillo. Este modelo combina la inspección periódica mediante termografía infrarroja con las estrategias del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), para optimizar las intervenciones de mantenimiento, mejorar la confiabilidad del sistema y reducir los costos operativos.

3.1. Definición General del Sistema

La línea de alimentación de 23 kV en el puerto Punta Totoralillo es una infraestructura eléctrica crítica la cual alimenta la operación del puerto. Su diseño está adaptado para enfrentar las condiciones ambientales adversas asociadas a la proximidad al mar, como la corrosión por salinidad, altas temperaturas y humedad elevada. Este sistema consta de 58 estructuras distribuidas a lo largo del trayecto, cada una diseñada para garantizar una transmisión de energía confiable y segura. Debido a su importancia estratégica, cualquier falla en esta línea podría tener un impacto significativo en la operación portuaria, lo que refuerza la necesidad de implementar un programa de mantenimiento predictivo efectivo.

Figura N°3. 1 Ubicación de las estructuras



3.2. Análisis de los datos obtenidos a través de termografía infrarroja.

El análisis de los datos obtenidos mediante termografía infrarroja incluye la elaboración de informes detallados para cada estructura inspeccionada. Estos informes documentan las mediciones realizadas, los estados de los componentes y las recomendaciones para intervenciones de mantenimiento. La información está segmentada según los principales componentes inspeccionados: aisladores, conductores y prensas paralelas.

3.2.1. Componentes Analizados y Mediciones Realizadas

Aisladores:

- En cada estructura, se midieron las temperaturas máximas de los aisladores en las fases L1, L2 y L3.
- El análisis incluyó la verificación de diferencias de temperatura (ΔT°) entre fases, que podrían indicar problemas operativos.

Observaciones:

- En la mayoría de las estructuras, las temperaturas registradas estuvieron dentro del rango normal (20-25 °C), sin diferencias significativas que requerirán reparaciones inmediatas.
- Sin embargo, en algunos puntos de medición, como el Poste 52, se detectan ruidos eléctricos en los aisladores y temperaturas elevadas en sus bases, posiblemente asociados al efecto corona.

Conductores:

- Se verificaron puntos calientes en las conexiones con aisladores y prensas paralelas. No se encontraron gradientes térmicos que sugieran sobrecalentamientos críticos.
- ΔT° bajo en todas las mediciones realizadas en conductores principales, lo que confirma que las conexiones se encuentran en buen estado.

Prensas Paralelas:

- Las mediciones en las prensas revelaron una distribución térmica homogénea, sin puntos críticos en la mayoría de las estructuras. Sin embargo, en algunos casos específicos, se registraron variaciones térmicas que podrían estar relacionadas con acumulación de contaminantes o sulfatación.

3.3. Datos Obtenidos a través de Termografía Infrarroja

El análisis de termografía infrarroja en la línea de alimentación de 23 kV se llevó a cabo mediante dos inspecciones durante el período comprendido entre el 02-01-2023 y el 30-12-2023. Estas inspecciones fueron clave para evaluar el estado térmico de los componentes críticos y determinar tendencias de temperatura, identificando posibles anomalías que podrían afectar la confiabilidad del sistema.

- **Fechas de las Inspecciones**
 - **Primera Inspección:** 18-04-2023.
 - **Segunda Inspección:** 05-10-2023.
- **Herramienta Utilizada**
 - **Equipo:** Cámara termográfica FLIR T540.
 - **Camioneta:** Para el traslado del personal

3.3.1. Método de Inspección.

3.3.1.1. Actividad

Las inspecciones termográficas se ejecutaron como parte del plan de mantenimiento predictivo de la línea de alimentación de 23 kV, asegurando una cobertura integral de los componentes críticos. Estas actividades fueron realizadas por un equipo de dos técnicos especializados, trabajando en turnos completos de 10 horas, distribuyendo la carga de trabajo en 5 horas hombre (HH) por persona. La duración de los turnos y la asignación de tareas garantizan la precisión en la captura de datos y la evaluación técnica, minimizando el riesgo de errores humanos en condiciones operativas prolongadas

3.3.1.2. Técnica de Evaluación

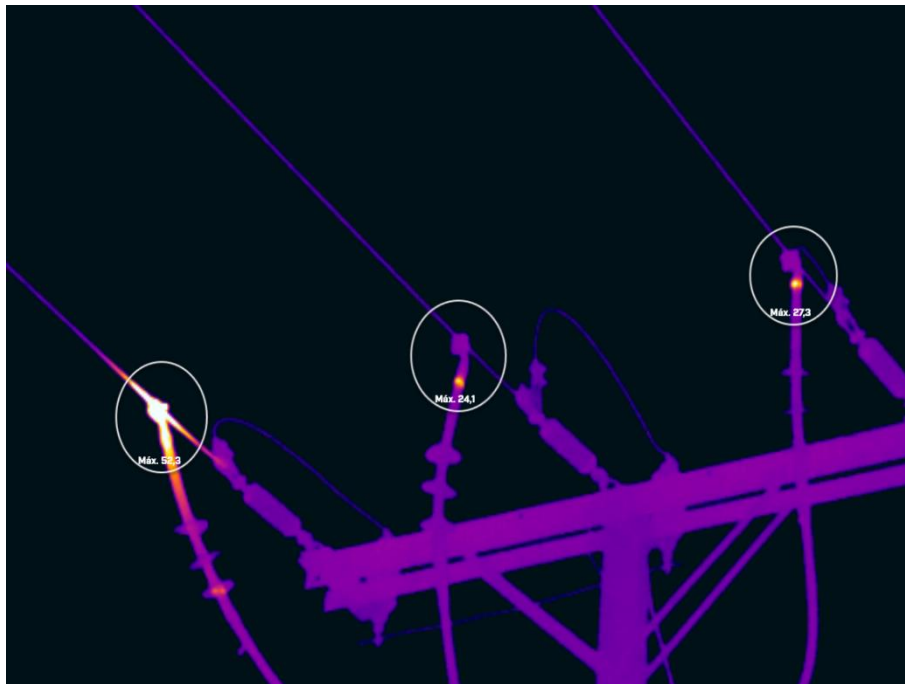
La inspección se basó en procedimientos estandarizados que comprenden los siguientes pasos técnicos, los cuales están los instructivos de medición de líneas de transmisión la cual de adjuntara en los **ANEXO B** para visualización

3.3.1.3. Captura de Imágenes Térmicas

La herramienta principal utilizada fue una cámara termográfica **FLIR T540**, que permite detectar radiación infrarroja y convertirla en imágenes térmicas detalladas. Estas imágenes proporcionan información clave sobre las variaciones de temperatura en los componentes evaluados.

3.3.1.4. Ejemplo de imagen tomada dentro de la termografia a la línea de alimentación puerto

Figura N°3. 2 Imagen termográfica estructura 58 línea alimentación puerto



3.3.1.5. Explicación de la Figura N°3. 2

1. Punto con temperatura máxima (52,3°C)

- Este punto se observa una anomalía térmica, probablemente relacionada con un **sobrecalentamiento** en un conector o soldadura de prensa paralela.

2. Puntos de 24,1°C y 27,3°C

- Estas temperaturas son considerablemente más bajas en comparación con el primer punto, lo que indica que estos componentes están operando dentro de un rango de temperatura más normal.

3. Comparación y ajuste (adyacente)

En un análisis termográfico, el término "adyacente" o comparación con puntos cercanos se utiliza para identificar desviaciones térmicas significativas. Aquí, el componente con 52,3°C muestra una diferencia considerable con respecto a los puntos cercanos de 24,1°C y 27,3°C.

4. Componentes Críticos Inspeccionados

- **Aisladores:** Verificación de integridad dieléctrica y detección de descargas parciales.
- **Conductores:** Monitoreo de sobrecalentamientos localizados, conexiones defectuosas y gradientes térmicos entre fases.
- **Prensas paralelas:** Evaluación de posibles puntos calientes debido a desgaste, sulfatación o aflojamiento.
- **Equipos de protección:** Revisión de pararrayos e interruptores para detectar anomalías térmicas que indiquen un posible fallo operativo

5. Procedimiento de Captura

- Los técnicos realizaron la captura de imágenes desde puntos estratégicos definidos previamente, asegurando una cobertura completa de cada componente crítico.

- Se utilizó un ángulo de captura óptimo para reducir interferencias externas y obtener lecturas precisas.
- Los termogramas fueron inmediatamente analizados para detectar variaciones significativas de temperatura.

6. Análisis de Delta T°

El análisis de **Delta T°** (variación de temperatura entre componentes adyacentes) es una de las técnicas clave para identificar posibles anomalías térmicas. Este análisis se realiza comparando las temperaturas de los puntos calientes detectados en los termogramas con los valores estándar y los promedios históricos.

Asimismo, donde es esencial la aplicación del software de FLIR THERMAL STUDIO, donde dentro de sus herramientas de edición, se puede ejecutar ecuaciones en este caso medición

Ecuación N°3. 1 Calculo delta Temperatura

$$Delta T^{\circ} = Tem Max - Tem Min$$

Generando el cálculo de delta considerando las temperaturas indicadas en la **Figura N°3. 2**

$$Delta T^{\circ} = 52,3^{\circ}C - 24,1^{\circ}C = 28,2^{\circ}C$$

Dado el resultado obtenido del cálculo del delta temperatura se categoriza como tipo 2

6.1. Objetivo del Delta T°:

- Detectar conexiones sueltas o desgastadas.
- Identificar acumulaciones de contaminantes que aumenten la resistencia térmica.
- Evaluar si los componentes operan dentro de sus límites térmicos seguros.

6.2. Proceso de Análisis:

- Se determinó el rango de temperaturas de operación estándar para cada componente.
- Se identificaron diferencias térmicas mayores a 10 °C como potenciales anomalías de prioridad media (Tipo 2).
- Los datos fueron registrados y procesados para generar alertas en caso de anomalías críticas (Tipo 1).

6.3. Evaluación de Tendencias Térmicas

Este paso es sumamente importante, ya que evaluar las tendencias de temperatura en el tiempo, es relevante ya que nos permite proyectar un comportamiento del componente de la línea con base de datos históricos, cabe señalar que la tendencia en el tiempo en la base de datos es muy acotada ya que donde la frecuencia de inspección es baja. La generación de avisos para programar actividad de mantenimiento, en el caso de anomalías atacar con un seguimiento de condición, o aplicar mantenimiento preventivo con el lavado de línea.

6.4. Propósito

- **Identificar patrones de deterioro progresivo:**
 - Analizar tendencias térmicas en los componentes permite detectar anomalías antes de que se conviertan en fallas críticas, asegurando la continuidad operativa.
 - Los termogramas capturados fueron comparados con datos históricos de inspecciones anteriores.
 - Se generaron reportes con alertas específicas para componentes cuya tendencia térmica superaba los límites establecidos
- **Determinar la necesidad de intervenciones preventivas**
 - Evaluar el comportamiento térmico ayuda a planificar actividades de mantenimiento preventivo, como limpieza o ajustes mecánicos, antes de que se requiera una intervención correctiva.
 - Esta estrategia reduce costos asociados a fallas no planificadas y prolonga la vida útil de los componentes.

- **Establecer puntos de referencia para el seguimiento continuo**

- Generar parámetros base para cada componente permite identificar desviaciones térmicas significativas en inspecciones futuras.
- Estos puntos de referencia son esenciales para establecer alertas y tomar decisiones informadas.

3.3.2. Técnica de Proyección

Comparación con Datos Históricos:

Las imágenes termográficas capturadas durante las inspecciones fueron analizadas en comparación con registros históricos almacenados en plantillas de Excel y software especializado, permitiendo identificar tendencias térmicas y patrones de comportamiento en los componentes inspeccionados. Estas comparaciones históricas permiten evaluar la evolución de temperaturas críticas y proyectar posibles puntos de falla antes de que se produzcan eventos inesperados.

La implementación de un modelo de inspección con ciclo trimestral, basado en mediciones frecuentes, permitirá la construcción de una base de datos más representativa. Esto facilitará análisis predictivos más precisos y mejorará significativamente la capacidad de proyección térmica en el tiempo, permitiendo una planificación de mantenimiento más efectiva.

Herramientas Utilizadas:

- **Software FLIR Thermal Studio:** Para procesar imágenes termográficas y analizar tendencias térmicas históricas.
- **Métodos de análisis estadístico:** Incluyendo regresiones lineales para proyectar la evolución de puntos calientes y su impacto potencial.

Generación de Reportes y Alertas:

- Los resultados del análisis fueron documentados en informes técnicos generados mediante el software FLIR Thermal Studio, proporcionando un registro detallado de las condiciones térmicas observadas.

- Se emitieron alertas específicas para componentes críticos cuya tendencia térmica superó los umbrales predefinidos en las tablas de prioridad (clasificadas como Tipo 1, 2 o 3), con base en la criticidad del sistema y el impacto potencial en la operación.

3.4. Reporte de Falla en Aislador y Gestión de Anomalía

3.4.1. Resumen del Evento

- **Fecha del Evento:** 11-05-2023.
- **Ubicación:** Poste 52 de la línea de alimentación de 23 kV.
- **Detalle del Evento:** Se produjo una falla en un aislador que generó un **corte de línea** y activó las protecciones de la subestación.
- **Impacto Detectado:** Puntos calientes en los conductores, asociados a un gradiente térmico elevado, con un Delta T° significativo.

Figura N°3. 3 Falla de Aislador

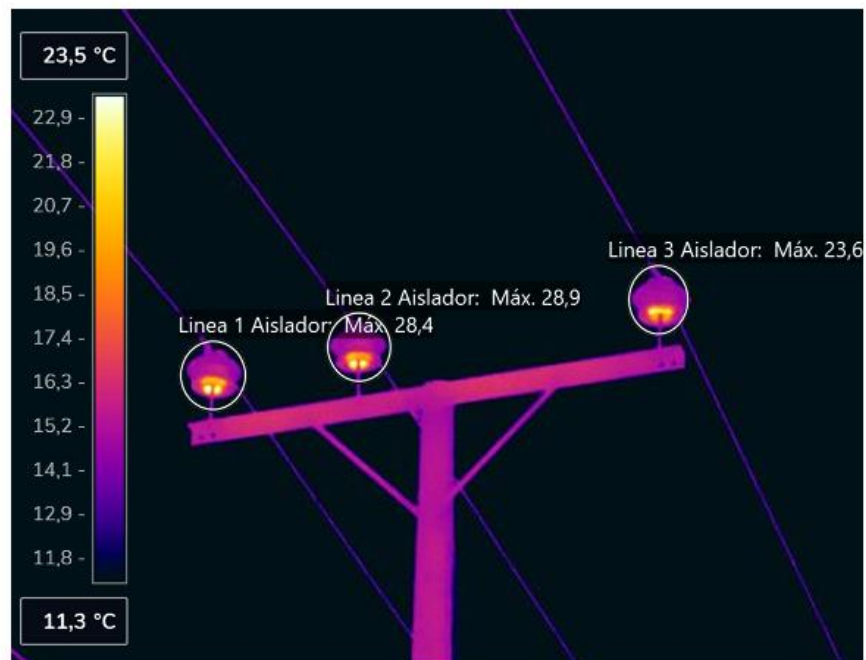


3.4.2. Mediciones Relacionadas

- **Temperatura Máxima Registrada:** 28,9 °C en un aislador de la línea 2.
- **Delta T° Identificado:** 5,3 °C entre la línea 2 y la línea 3.
- **Condiciones Operativas:** Anomalía térmica previa identificada como moderada, clasificada como **Prioridad Tipo 3**, recomendando seguimiento de condición

Figura N°3. 4 Informe de Falla de Aisladores

Poste 52 Línea Alimentación Puerto



Parámetros

Emisividad	0,90
Temp. reflejada	20,0 °C
Temp. atmosférica	20,0 °C

Mediciones

Linea 1 Aislador	
Máx.	28,4 °C
Linea 2 Aislador	
Máx.	28,9 °C
Linea 3 Aislador	
Máx.	23,6 °C
Delta T°	
Linea 2 Aislador.Max-Linea 3 Aislador.Max	5,3 °C

3.4.3. Acciones Tomadas

- **Bloqueo de Línea para Reparación:**
 - **Fecha de Bloqueo:** 11-05-2023.
 - **Orden de Trabajo SAP:** 10892409.
 - **Actividad:** Se realizó el bloqueo de la línea para intervenir el aislador dañado y mitigar la falla.

Figura N°3. 5 Orden de Mantenimiento fuera de programa

Aviso	14421744	Z1	Chequeo y Rep línea media tensión puerto
Status mensaje	MECE ORAS		
Orden	10892249	St.Téc.	

Objeto de referencia
Ubic.téc. HA01-PRIO-GNRAL-L... LINEAS DE DISTRIBUCION
Equipo HA230-LA-23K LÍNEA ALIM. 23 Kv PUERTO TOTORALILLO
Conjunto

Responsabilidades
Grupo planif. ZH8 / MP08 Puerto Totoralillo
Pto.tbjo.resp. CE / MP08 MANTTO. ELECTRICO PUERTO
Autor del aviso FPIZARRO Fecha de aviso 11.05.2023 01:48:36

Datos avería
Inicio avería 11.05.2023 01:48:36 <input type="checkbox"/> Parada
Fin de avería 00:00:00 Duración parada 0,00 H

Circunstancias
Descripción Chequeo y Rep línea media tensión puerto
11.05.2023 00:54:45 CHILE (FPIZARRO) Se requiere el chequeo de línea de media tensión puerto. Debido a falla en sub estación. 11.05.2023 01:04:21 CHILE (FPIZARRO) Chequeo y reparación de línea eléctrica.

Fechas extremas
Inicio deseado 11.05.2023 01:48:36 Prioridad
Fin deseado 00:00:00 Parada <input type="checkbox"/>

- **Inspección Física:**
 - Durante la inspección, se confirmó daño mecánico y eléctrico en el aislador.
 - Se verificó una acumulación significativa de contaminantes que afectó rendimiento dieléctrico, provocando un **efecto corona**.
- **Reparación y Limpieza:**
 - Sustitución del aislador dañado.
 - Limpieza profunda de los componentes adyacentes para prevenir nuevas descargas parciales.
- **Reinicio Operativo:**
 - Puesta en servicio tras completar las reparaciones, asegurando condiciones térmicas estables.

3.4.4. Análisis de la Falla

1. **Causa Principal:**
 - Acumulación de contaminantes y desgaste dieléctrico en el aislador.
2. **Efectos Secundarios:**
 - Incremento de temperatura en conductores adyacentes.
 - Activación de protecciones en la subestación, lo que ocasionó una interrupción temporal del suministro.
3. **Prevención Futura:**
 - Incrementar la frecuencia de limpieza y monitoreo térmico en los postes cercanos a la costa, donde la salinidad y contaminación ambiental son factores críticos, por lo cual, al mejorar este punto, puede ser relevante para la mejora de los planes preventivos.

3.4.5. Recomendaciones

1. **Frecuencia de Inspección:**
 - Modificar la frecuencia de inspección de semestral a trimestral para mejorar la detección temprana de anomalías.
2. **Integración de Datos:**

- Registrar todas las mediciones y reparaciones en SAP para facilitar el análisis de tendencias y generar alertas predictivas.

3. Mantenimiento Preventivo:

- Programar limpiezas regulares en los aisladores expuestos a condiciones ambientales.

3.5. Estrategias de Inspección Actual Semestral

3.5.1. Frecuencia de inspección

Las inspecciones ejecutadas se realizan dos veces al año, lo que implica un intervalo de 6 meses entre cada visita a las 58 estructuras que componen la línea de alimentación de 23 kV. Este intervalo puede permitir la acumulación de contaminantes y la progresión de anomalías térmicas no detectadas a tiempo.

3.5.1.1. Actividades Realizadas:

1. Revisión Visual:

- a) Inspección de las condiciones físicas de aisladores, conductores y prensas paralelas.
- b) Identificación de signos visibles de desgaste, sulfatación o acumulación de contaminantes.

2. Medición de Termografía:

- a) Captura de imágenes térmicas en puntos seleccionados de cada estructura.
- b) Análisis simple de temperaturas sin generación de tendencias ni integración en un sistema centralizado.

3. Registro Manual:

- a) Los datos se registran en reportes manuales o en planillas externas (Excel), lo que dificulta la trazabilidad y la automatización de alertas.

- b) Generación de avisos de seguimiento de condición de anomalías térmicas.

4. Limitaciones:

1. **Riesgo de fallas no detectadas:** Las anomalías térmicas que se desarrollan rápidamente entre inspecciones podrían pasar desapercibidas.
2. **Falta de integración:** El proceso manual no permite un análisis histórico eficiente ni el seguimiento automatizado de tendencias.

3.6. Modelo Propuesto: Inspecciones Trimestrales (4 por año)

El plan trimestral que se implementara en SAP incluye actividades regulares y detalladas para garantizar la confiabilidad de la línea. Estas actividades son gestionadas automáticamente mediante órdenes de trabajo generadas en el sistema SAP, estas órdenes son ejecutadas manual mente en SAP según su ciclo de mantención cada 84 días, asegurando trazabilidad y eficiencia.

3.6.1. Integración con SAP:

- **Módulo Utilizado:** SAP

3.6.2. Planificación de Inspecciones:

- Creación de un plan matriz que incluye actividades trimestrales para cada componente crítico (aisladores, conductores, prensas).
- Asignación de órdenes de trabajo automáticas con fechas específicas para inspecciones.

3.6.3. Registro de Mediciones:

- Integración de los datos obtenidos mediante termografía directamente en SAP, permitiendo el seguimiento histórico.
- Captura de valores como temperatura máxima, Delta T°, y observaciones de ruidos o efectos corona.

3.6.4. Generación de Alertas:

- Configuración de límites críticos para cada componente (por ejemplo, Delta T° > 35 °C).
- Creación de avisos de mantenimiento en caso de detección de anomalías.

3.6.5. Reportes Automatizados:

- Generación de reportes periódicos que muestran tendencias de temperatura y clasifican las prioridades (Tipo 1, 2 y 3). Los cuáles serán realizados por el software Flir Thermal Studio

3.7. Actividades Realizadas en Cada Inspección Termográfica propuesta

3.7.1. Captura de Termograma:

- **Descripción de la Actividad:**

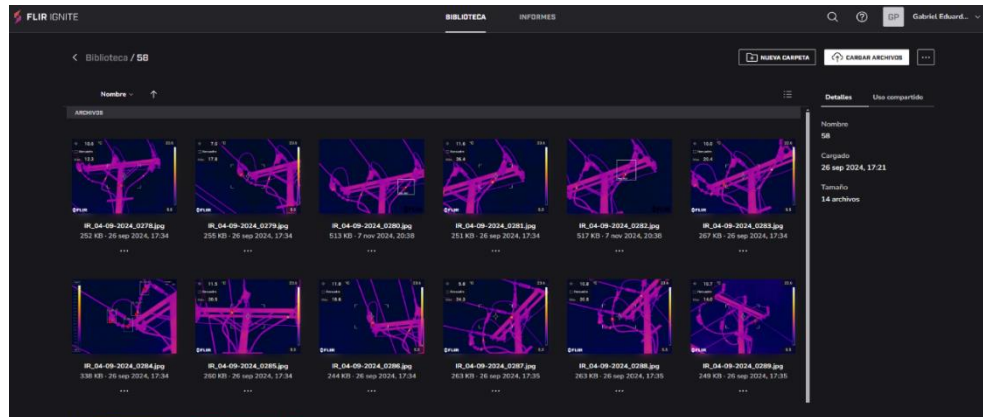
Durante las inspecciones trimestrales, se capturan imágenes térmicas de todos los componentes clave en las 58 estructuras de la línea de alimentación. Estos componentes incluyen:

- **Aisladores.**
- **Conductores.**
- **Prensas paralelas.**
- **Postes de soporte.**
- **Equipos de protección** (pararrayos).

Se utiliza la cámara termográfica **FLIR T540**, que permite capturar imágenes térmicas de alta resolución y realizar análisis detallados in situ.

Para realizar la verificación se utiliza plataforma como la nube de Flir Ignite el cual no permite verificar con dispositivo móvil como Tablet y poder analizar de mejor manera la imagen, cabe señalar que la cámara tiene esa opción ya que es tecnología que permite realizar modificaciones de las mediciones.

Figura N°3. 6 Programa de Análisis en línea FLIR IGNITE.



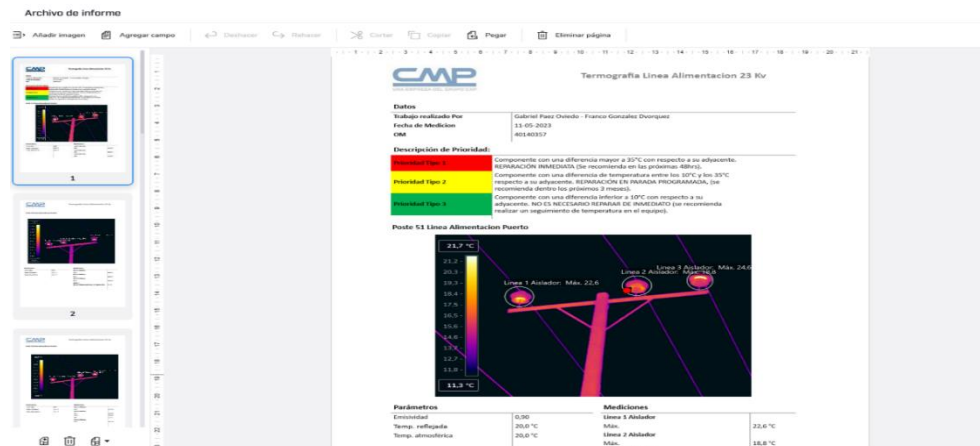
3.7.2. Uso del Software FLIR Thermal Studio:

Las imágenes capturadas se procesan mediante FLIR Thermal Studio, una herramienta avanzada que permite:

- Evaluación en tiempo real de los termogramas, identificando puntos calientes y anomalías térmicas, con sus aplicaciones integradas en el software
- Cálculo automático del Delta T° entre componentes adyacentes.
- Generación de informes detallados con análisis térmicos y datos históricos para evaluar tendencias.

Este análisis permite clasificar rápidamente las anomalías según su severidad y priorizar las acciones correctivas.

Figura N°3. 7 Software FLIR Thermal Studio para edición.



3.7.3.Registro en SAP:

3.7.3.1. Descripción de la Actividad:

1. Todas las anomalías detectadas durante las inspecciones se registran en el sistema **SAP PM**.
2. Para cada anomalía, se genera un **aviso de mantenimiento por seguimiento de condición**, que incluye:
 - Identificación del componente afectado.
 - Clasificación de prioridad (Tipo 1, 2 o 3).
 - Recomendaciones de acción correctiva o preventiva.

3.7.4. Seguimiento de Componentes Críticos:

3.7.4.1. Clasificación de Prioridades:

Basado en las tablas de prioridades, los componentes inspeccionados se clasifican según la severidad del T°:

Tabla N° 3. 1 Prioridades de anomalías térmicas

Prioridad	Descripción
Prioridad Tipo 1	Componente con una diferencia mayor a 35 °C con respecto a su adyacente. REPARACIÓN INMEDIATA (Se recomienda en las próximas 48 horas).
Prioridad Tipo 2	Componente con una diferencia de temperatura entre los 10 °C y los 35 °C respecto a su adyacente. REPARACIÓN EN PARADA PROGRAMADA , (se recomienda dentro de los próximos 3 meses).
Prioridad Tipo 3	Componente con una diferencia inferior a 10 °C con respecto a su adyacente. NO ES NECESARIO REPARAR DE INMEDIATO (se recomienda realizar un seguimiento de temperatura en el equipo).

3.7.5. Generación de avisos para seguimiento de condición

Descripción de la actividad:

- Se generan avisos para el seguimiento de condición de anomalías térmicas detectadas en la línea.
- Generación de ordenes de fuera de programa para verificación de estado de anomalía detectada

- Generación de orden de seguimiento de condición para programar dentro de un periodo determinado por la programación semanal.

A continuación, se adjunta tabla de avisos generados en el periodo 02-01-2023 a 30-12-2023

Dentro de las anomalías más comunes en el periodo fueron anomalías térmicas en estructura 58 llegada al puerto donde alimenta la sala eléctrica 0 para su eventual distribución a las demás salas eléctricas del mismo puerto.

Tabla N° 3. 2 Listados de avisos de seguimiento

Equipo	Texto breve	Fecha de aviso	Puerto de trabajo	Aviso
HA230-LA-23K	Termografía a poste n58	04-05-2023	MONCONVC	14547738
HA230-LA-23K	Termografía del poste 48 al 58	11-05-2023	MONCONVC	14424622
HA230-LA-23K	Termografía a poste 58 post intervención	12-05-2023	MONCONVC	14413135
HA230-LA-23K	Termografía a poste 58	01-08-2023	MONCONVC	14413244
HA230-LA-23K	Termografía poste 58	10-11-2023	MONCONVC	14694496

3.7.6. Generación de avisos para Limpieza Preventiva:

La limpieza preventiva de componentes eléctricos expuestos a condiciones ambientales adversas es una actividad crítica para garantizar el funcionamiento continuo y seguro de los sistemas de distribución eléctrica, como la línea de alimentación de 23 kV del Puerto Punta Totalillo. En este contexto, el proceso incluye los siguientes pasos:

3.7.6.1. Generación automática de avisos en SAP PM

Se configuran avisos específicos en el módulo SAP, programados de acuerdo con las frecuencias establecidas en el plan de mantenimiento predictivo. Estos avisos son enviados al personal técnico responsable para garantizar la ejecución oportuna de la limpieza.

3.7.6.2. Objetivo principal

La limpieza tiene como propósito principal eliminar la acumulación de contaminantes, como salinidad, polvo, residuos químicos y otras partículas que se depositan en los aisladores y equipos críticos. Este tipo de contaminación es especialmente problemática en entornos marítimos, donde el aire cargado de partículas salinas puede acelerar la corrosión y reducir la capacidad dieléctrica de los componentes.

3.7.6.3. Actividades asociadas

La limpieza incluye el lavado controlado de aisladores el uso de agentes no corrosivos, y la inspección visual posterior para verificar que las superficies hayan recuperado su integridad dieléctrica.

3.8. Beneficios del Modelo Propuesto

El aumento en la frecuencia de inspecciones predictivas, acompañado de la integración con sistemas avanzados SAP, tiene un impacto directo en la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia de la gestión del mantenimiento. A continuación, se detallan los beneficios técnicos clave con explicaciones extensas.

3.8.1. Mayor Frecuencia, Mayor Precisión

Descripción Técnica

- Aumentar la frecuencia de inspecciones de semestrales a trimestrales permite realizar 4 inspecciones por año, lo que reduce el intervalo entre cada análisis térmico.
- Esta periodicidad permite detectar cambios menores en las temperaturas de operación que, de no ser atendidos, podrían evolucionar a fallas críticas.

Impacto en la Detección de Anomalías:

- Las inspecciones más frecuentes posibilitan la detección temprana de anomalías térmicas, como puntos calientes, descargas parciales y acumulación de contaminantes.
- Permite analizar las tendencias de temperatura con mayor detalle, lo que mejora la precisión en las proyecciones térmicas a largo plazo.
- Ejemplo: Si un aislador presenta un ΔT° anómalo, el seguimiento trimestral permite identificar un patrón creciente y planificar acciones antes de que el componente falle.

3.8.2. Proyecciones de Tendencias Térmicas:

Técnica de Monitoreo:

- Mediante el uso de termografía infrarroja y el software **FLIR Thermal Studio**, se calculan y monitorean los valores de ΔT° en cada componente crítico.
- Las proyecciones basadas en análisis históricos permiten prever puntos críticos con semanas de anticipación.

Beneficio Técnico:

- Este nivel de precisión reduce el riesgo de **fallas no planificadas**, aumentando la confiabilidad general del sistema.
- Se mejora la capacidad de identificar componentes que operan cerca de los límites tolerables, permitiendo intervenciones preventivas oportunas.

3.8.3. Optimización de Costos

Reducción de Costos por Fallas No Detectadas:

- **Análisis de Costos:**
 - Las fallas no detectadas a tiempo pueden generar paradas no planificadas, con impactos económicos significativos debido al tiempo de inactividad y costos de reparación.

- Con la detección temprana mediante inspecciones trimestrales, se evita la acumulación de daño en los componentes, reduciendo los costos de reparación.
- Ejemplo: Un aislador con acumulación de contaminantes que genera descargas parciales puede limpiarse preventivamente, evitando la necesidad de reemplazarlo.

3.8.4. Planificación Eficiente de Paradas:

- **Optimización del Tiempo de Inactividad:**

- Las paradas planificadas se ajustan a los resultados de las inspecciones predictivas, permitiendo agrupar actividades correctivas y preventivas.
- Esto minimiza la cantidad de paradas necesarias y reduce el impacto en la operación general del sistema.

- **Ventaja Técnica:**

- Las actividades de mantenimiento se programan de manera estratégica, priorizando las intervenciones según la criticidad de los componentes.
- Ejemplo: Durante una parada programada, se pueden limpiar todos los aisladores clasificados como Tipo 2, optimizando recursos y tiempo.

3.8.5. Eficiencia en Recursos:

- **Optimización de Personal:**

- La automatización con SAP permite asignar tareas al personal técnico de manera eficiente, evitando duplicidad de esfuerzos y asegurando que las actividades críticas sean atendidas de inmediato.
- Mejora la planificación de repuestos y herramientas, asegurando que los recursos estén disponibles en el momento adecuado.

CAPITULO IV

IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)

En este capítulo se presenta la implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) como una estrategia clave para garantizar la disponibilidad y confiabilidad de la línea de alimentación de 23 kV en el Puerto Punta Totoralillo. La metodología RCM se fundamenta en el análisis de los modos y efectos de falla (FMEA), permitiendo priorizar las acciones de mantenimiento en función de los riesgos asociados a cada componente crítico.

4.1. Análisis de Modos y Efectos de Fallo (FMEA)

El Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) es usado como herramienta básica para la identificación y priorización de los modos de fallas en los componentes de la línea de alimentación 23kV, el puerto Punta Totoralillo. Los resultados obtenidos orientan las estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo por medio de los índices de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad calculados.

4.1.1. Componentes Críticos Analizados

- **Aisladores:** Identificados como críticos debido a su susceptibilidad a descargas parciales y acumulación de contaminantes.
- **Conductores:** Propensos a sobrecalentamiento y corrosión.
- **Prensas paralelas:** Sujetos a sulfatación y desgaste mecánico.
- **Postes de soporte:** Vulnerables a corrosión estructural.
- **Equipos de protección (Pararrayos e Interruptores):** Susceptibles a fallos operativos debido a envejecimiento.

4.1.2. Metodología del FMEA

1. **Subsistema y Componente:**
 - Se especifica el subsistema general (Línea de alimentación) y el componente crítico que desempeña una función clave.
2. **Función:**

- Describe el propósito principal del componente en la operación del sistema.
3. **Falla Funcional:**
- Define la pérdida total o parcial de la capacidad del componente para cumplir con su función designada.
4. **Modo de Falla:**
- Detalla la causa específica de la falla funcional, como contaminación, desgaste o envejecimiento.
5. **Probabilidad de Ocurrencia:**
- Se califica en una escala del 1 al 3, donde:
 - 1: Baja probabilidad.
 - 2: Probabilidad moderada.
 - 3: Alta probabilidad.
6. **Consecuencia:**
- Evalúa el impacto en el sistema en una escala del 1 al 3, donde:
 - 1: Impacto bajo.
 - 2: Impacto moderado.
 - 3: Impacto crítico.
7. **Criticidad:**
- Producto de **Probabilidad de Ocurrencia** y **Consecuencia**, que ayuda a priorizar las acciones correctivas y preventivas.
8. **Acciones:**
- Recomienda las actividades de mantenimiento predictivo y preventivo para mitigar el modo de falla identificado.

4.1.3. Tabla Resumen del FMEA

Tabla N° 4. 1 Resumen del FMEA

Subsistema	Componente	Función	Falla Funcional	Modo de Falla
Línea de alimentación	Aisladores	Garantizar la aislación dieléctrica	Pérdida de capacidad aislante	Acumulación de contaminantes
Línea de alimentación	Conductores	Transmitir energía eléctrica	Aumento de resistencia eléctrica	Conexiones sueltas
Línea de alimentación	Prensas paralelas	Sujetar conductores	Aflojamiento de los conductores	Sulfatación y desgaste mecánico
Línea de alimentación	Pararrayos	Proteger contra descargas atmosféricas	Reducción de capacidad de protección	Envejecimiento
Línea de alimentación	Postes de soporte	Garantizar la estabilidad estructural	Deterioro estructural	Corrosión en ambientes marinos

Tabla N° 4. 2 Resumen del FMEA

Probabilidad de Ocurrencia	Consecuencia	Criticidad	Acciones
2	3	6	Limpieza trimestral de contaminantes. Revisión visual de aisladores en estructuras críticas durante inspecciones programadas.
2	2	4	Ajuste y limpieza de conexiones en cada inspección programada. Termografía semestral para identificar puntos calientes en las conexiones.
3	2	6	Lubricación y ajuste cada 120 días. Inspección visual de la integridad mecánica en paradas programadas.
1	3	3	Pruebas funcionales anuales para verificar el estado operativo. Sustitución planificada según los resultados de las pruebas.
2	2	4	Aplicación de recubrimientos anticorrosivos cada 3 años. Inspección visual trimestral para identificar corrosión incipiente y daños estructurales.

CAPÍTULO V

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

El presente capítulo aborda la descripción detallada de las soluciones propuestas para optimizar el mantenimiento predictivo de la línea de alimentación de 23 kV en el Puerto Punta Totoralillo. Partiendo de los hallazgos obtenidos mediante análisis termográfico y el estudio del impacto ambiental sobre los componentes eléctricos, se desarrollan estrategias orientadas a mejorar la confiabilidad y disponibilidad del sistema.

En este contexto, se plantean propuestas como la mejora en la frecuencia de inspecciones, el desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), y el uso de indicadores clave de desempeño (KPIs) para evaluar la efectividad de las acciones implementadas. Cada propuesta se fundamenta en un análisis técnico y busca mitigar los riesgos asociados a las condiciones ambientales adversas, así como optimizar los tiempos de respuesta ante anomalías detectadas.

5.1. Propuesta de mejora de la frecuencia de inspección

Con base en los resultados obtenidos mediante el análisis termográfico y el impacto documentado de la contaminación ambiental en componentes eléctricos, se propone ajustar la frecuencia de las inspecciones para garantizar una detección más temprana de anomalías y prevenir fallas críticas.

5.1.1. Frecuencia actual

- Las inspecciones actuales se realizan de manera semestral, lo que implica un intervalo de 180 días entre revisiones. Este periodo es insuficiente para entornos de alta contaminación, como el litoral marítimo, donde la acumulación de salinidad y partículas corrosivas puede acelerar el deterioro de componentes eléctricos.

5.1.2. Propuesta de mejora

- **Nueva frecuencia:** Realizar inspecciones **trimestrales** (cada 90 días) para garantizar una detección más temprana de anomalías térmicas y fallas relacionadas con la

contaminación. Este intervalo se alinea con las mejores prácticas en mantenimiento predictivo para ambientes agresivos.

- **Razonamiento técnico:** La contaminación ambiental acelera la generación de puntos calientes debido a la degradación de aisladores y conductores. Reducir el intervalo entre inspecciones permitirá monitorear estas variaciones térmicas de manera más efectiva, optimizando los tiempos de respuesta.

5.1.3. Justificación de la mejora:

- **Prevención de fallas críticas:** El incremento de la frecuencia permite identificar anomalías térmicas (ΔT°) en etapas tempranas, evitando la evolución hacia fallas funcionales que puedan comprometer la continuidad operativa del sistema.
- **Planificación proactiva del mantenimiento:** Las inspecciones más frecuentes facilitan la generación de avisos automáticos en SAP PM para mantenimiento correctivo planificado, reduciendo los costos asociados a reparaciones de emergencia y mejorando la disponibilidad del sistema.
- **Análisis de datos más robusto:** La mayor frecuencia de inspección proporciona un mayor volumen de datos térmicos, permitiendo proyectar tendencias más precisas y ajustar las estrategias de mantenimiento según las condiciones reales de operación.

5.1.4. Implementación:

5.1.4.1. Revisión exhaustiva de imágenes térmicas

Cada inspección incluirá la captura y análisis de termogramas de todos los componentes críticos, utilizando cámaras de alta resolución como la FLIR T540.

5.1.4.2. Integración con SAP PM

Los datos obtenidos se registrarán automáticamente en el sistema SAP, generando alertas basadas en criterios establecidos (e.g., $\Delta T^\circ > 10^\circ\text{C}$) y clasificando las anomalías según su prioridad (Tipo 1, 2, o 3).

5.1.4.3. Criterios adaptativos

Ajustar los intervalos de inspección y limpieza según la severidad de las anomalías detectadas en cada ciclo, priorizando estructuras con mayor exposición a la salinidad y contaminación.

5.1.4.4. Validación de resultados

Monitorear indicadores clave como el **Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)** y la disponibilidad del sistema para evaluar el impacto de la nueva frecuencia y realizar ajustes continuos en el plan de mantenimiento.

5.2. Desarrollo de un plan de mantenimiento predictivo basado en la condición

Se propone un plan de mantenimiento predictivo diseñado para identificar y abordar fallas potenciales en etapas tempranas mediante el uso de termografía infrarroja. Este enfoque optimiza las intervenciones según el estado real de los componentes, priorizando aquellos con mayor criticidad operativa.

5.2.1. Componentes críticos para evaluar

- **Aisladores**

Realizar inspecciones termográficas periódicas para identificar acumulación de contaminantes, salinidad y puntos calientes que comprometan la capacidad dieléctrica. La detección temprana previene el desarrollo de arcos eléctricos o fallas dieléctricas.

- **Conexiones y terminales**

Evaluar las temperaturas en las uniones eléctricas para detectar contactos flojos o corrosión, los cuales incrementan la resistencia eléctrica y provocan sobrecalentamientos.

- **Conductores**

Monitorear la temperatura de los conductores para identificar sobrecargas, pérdidas de energía por resistencia y puntos calientes derivados de conexiones deficientes.

- **Prensas paralelas**

Verificar zonas sometidas a esfuerzos mecánicos, como fricción térmica excesiva o acumulación de contaminantes, que puedan generar debilitamiento estructural o pérdida de contacto.

5.2.2. Procedimientos:

5.2.2.1. Inspecciones regulares:

Realizar inspecciones trimestrales mediante cámaras termográficas de alta resolución (como FLIR T540) para capturar datos térmicos precisos. Estas inspecciones deben seguir rutas previamente establecidas, documentadas en un plan matriz integrado con el sistema SAP.

5.2.2.2. Clasificación de componentes

Establecer un sistema de clasificación basado en los resultados del análisis termográfico:

- Críticos: Componentes que presentan $\Delta T^{\circ} > 35^{\circ}\text{C}$ y riesgo inminente de falla. Requieren intervención inmediata para evitar interrupciones operativas.
- Moderados: Componentes con ΔT° entre 10°C y 35°C . Requieren seguimiento y mantenimiento en el próximo ciclo planificado.
- Leves: Componentes con $\Delta T^{\circ} < 10^{\circ}\text{C}$. Solo requieren vigilancia y monitoreo en inspecciones futuras.

5.2.2.3. Generación de reportes

Utilizar herramientas como FLIR Thermal Studio para procesar termogramas, calcular deltas térmicos y generar alertas automáticas según los criterios establecidos.

5.2.3. Cronograma de mantenimiento

5.2.3.1. Inspecciones trimestrales

Realizar revisiones cada 90 días para garantizar una detección temprana de anomalías y permitir intervenciones oportunas. Estas inspecciones deben incluir todos los componentes críticos y su priorización según la clasificación obtenida.

5.2.3.2. Reparaciones planificadas

Programar intervenciones basadas en el estado detectado durante las inspecciones. Las reparaciones de componentes críticos deben ejecutarse de inmediato, mientras que las anomalías moderadas se programan para el siguiente ciclo.

5.2.3.3. Seguimiento de tendencias térmicas

Integrar los datos históricos en SAP para analizar tendencias, prever comportamientos y ajustar la frecuencia de inspección o intervenciones según la evolución de las condiciones detectadas.

5.2.4. Beneficios del enfoque propuesto

5.2.4.1. Optimización de recursos

Al priorizar los componentes más críticos, se maximizan los esfuerzos en intervenciones donde el impacto operativo es mayor.

5.2.4.2. Reducción de costos

Identificar y abordar anomalías en etapas tempranas disminuye los costos asociados a reparaciones de emergencia y tiempos de inactividad.

5.2.4.3. Confiabilidad operativa

Un mantenimiento predictivo basado en condición incrementa la disponibilidad del sistema y mejora indicadores clave como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF).

5.3. Implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para los componentes críticos de la línea

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es una metodología sistemática operativa de los equipos y el análisis del impacto de sus posibles fallos. Este enfoque asegura que cada acción de mantenimiento sea realizada en el momento y lugar adecuados, maximizando la confiabilidad del sistema y minimizando los costos asociados a fallas inesperadas.

5.3.1. Filosofía del RCM

Enfoque en la funcionalidad

El RCM prioriza la preservación de las funciones operativas de los componentes críticos, garantizando que cumplan con los estándares requeridos en condiciones normales y extremas.

Prevención de fallas funcionales

Identificar y mitigar modos de falla que puedan causar interrupciones significativas en las operaciones del sistema eléctrico.

Gestión del riesgo

Minimizar las consecuencias de las fallas en términos de seguridad, impacto ambiental y costos operativos.

5.3.2. Identificación de componentes críticos

Aisladores

Considerados críticos debido a su función como barreras dieléctricas esenciales y soporte mecánico de los conductores. Su falla puede provocar descargas parciales y arcos eléctricos, comprometiendo la seguridad y operatividad de la línea.

Conexiones y terminales

Elementos clave para garantizar la continuidad del flujo eléctrico. Fallas en estas conexiones pueden causar puntos calientes, sobrecalentamientos y pérdida de capacidad de transmisión.

Prensas paralelas

Su criticidad es moderada, pero su mal funcionamiento puede generar inestabilidad mecánica en los conductores, aumentando el riesgo de daños estructurales y eléctricos.

5.3.3. Modos de falla analizados

Estos modos de falla se señalan en la **Tabla N°4.1 Resumen del FMEA**

5.3.3.1. Aisladores

La salinidad, polvo y residuos químicos se adhieren a la superficie del aislador, reduciendo su capacidad dieléctrica y aumentando la probabilidad de descargas parciales y arcos eléctricos. Esto compromete la funcionalidad y la seguridad operativa del sistema.

5.3.3.2. Conductores

El aflojamiento de las conexiones genera un aumento en la resistencia de contacto, lo que ocasiona puntos calientes, sobrecalentamiento local y pérdida de eficiencia en la transmisión de energía eléctrica. Si no se mitiga, puede derivar en fallas críticas que interrumpen el servicio.

5.3.3.3. Prensas paralelas

Las condiciones ambientales adversas, como la humedad y la exposición al aire salino, aceleran la sulfatación y el desgaste de las superficies de contacto. Esto provoca un debilitamiento estructural que puede resultar en la pérdida de soporte de los conductores.

5.3.3.4. Pararrayos

Con el tiempo, los pararrayos pierden su capacidad de protección debido a la degradación de sus componentes internos por exposición ambiental y descargas repetidas. Esto aumenta el riesgo de fallas en caso de descargas atmosféricas.

5.3.3.5. Postes de soporte

La exposición prolongada a ambientes altamente corrosivos provoca la degradación de los postes de soporte, reduciendo su integridad estructural y aumentando el riesgo de colapsos o daños graves a los componentes asociados.

5.3.4. Estrategias de mitigación

5.3.4.1. Mantenimiento preventivo

- Limpieza periódica de aisladores para eliminar contaminantes acumulados.
- Inspección visual y mecánica de las conexiones y terminales para detectar signos de desgaste, corrosión o daños.
- Uso de recubrimientos protectores en componentes metálicos expuestos para retrasar la corrosión.

5.3.4.2. Mantenimiento predictivo

- Implementación de termografía infrarroja para monitorear anomalías térmicas y priorizar reparaciones.

- Evaluación continua de tendencias térmicas y eléctricas para identificar patrones que indiquen posibles fallas futuras.
- Uso de análisis de vibraciones para detectar problemas en componentes mecánicos, como las prensas paralelas.

5.3.4.3. Mantenimiento correctivo

- Sustitución inmediata de componentes que presenten fallas críticas, priorizando aisladores dañados y conexiones que superen los límites térmicos establecidos.
- Rehabilitación estructural de prensas paralelas afectadas por desgaste mecánico severo.

5.3.5. Herramientas de soporte

Sistema SAP PM

Registro detallado de inspecciones y reparaciones para garantizar la trazabilidad de las actividades de mantenimiento. La generación de órdenes de trabajo automáticas asegura una planificación eficiente.

Software FLIR Thermal Studio

Procesamiento y análisis de datos termográficos para identificar y clasificar anomalías térmicas en tiempo real.

5.4. Indicadores clave de desempeño (KPI)

Memoria de Cálculo

A continuación, se presenta el análisis técnico de los indicadores clave de desempeño (KPI) relacionados con confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema eléctrico de 23 kV del Puerto Punta Totalillo. Este análisis incluye consideraciones técnicas sobre los cálculos y su relevancia operativa para el mantenimiento predictivo, el período comprendido entre el **02-01-2023** y el **30-12-2023**. Este cálculo se basa en la identificación de fallas, tiempo de reparación y datos operativos del sistema.

Búsqueda de Fallas en el Historial

- **Número total de reparaciones realizadas:** 3.
- Estas reparaciones corresponden a fallas detectadas en los componentes críticos de la línea de 23 kV. Las fallas fueron reportadas y gestionadas a través del sistema SAP, lo que permitió registrar con precisión los tiempos de reparación y los eventos.

Identificación del Período de Tiempo

- **Período analizado:** Del **02-01-2023** al **30-12-2023**.
- **Duración total del período**

$$\text{Horas Totales} = 365 \text{ días} \times 24 \text{ hrs} = 8760 \text{ hrs}$$

El análisis incluyó datos de operación continua y tiempo de inactividad relacionados con reparaciones. Este intervalo temporal fue suficiente para evaluar la confiabilidad del sistema y el comportamiento térmico de los componentes críticos bajo condiciones de operación normales.

Identificación del Tiempo de Reparación

- **Tiempo total de reparación:**

El tiempo total de reparación calculado refleja el tiempo acumulado empleado para atender las anomalías detectadas

$$\text{Tiempo de Reparación Total} = 3 \text{ reparaciones} \times 6 \text{ horas} = 18 \text{ horas}$$

- Este valor incluye todas las horas necesarias para la resolución de las fallas, desde la detección hasta la recuperación total del sistema.

5.4.1. Cálculo de la Tasa Media Entre Fallas (TMEF)

La **Tasa Media Entre Fallas (TMEF)** representa el tiempo promedio que el sistema opera sin interrupciones debido a fallas, y se calcula como:

Ecuación N°4 - 1 TMEF

$$TMEF = \frac{\text{Horas Totales del Período Analizado} - \text{Horas de Reparación}}{\text{Número de Averías}}$$

$$TMEF = \frac{8760 \text{ hrs} - 18 \text{ hrs}}{3 \text{ averías}} = \frac{8742}{3} = 2914 \text{ Horas}$$

Interpretación técnica

1. El sistema opera, en promedio, más de 4 meses continuos (2914 horas) sin interrupciones antes de experimentar una falla. Este valor indica un nivel de confiabilidad aceptable para sistemas de media tensión en ambientes industriales.
2. La TMEF refleja una buena confiabilidad operativa, pero también evidencia que la prevención es clave para mantener este nivel de desempeño. Las inspecciones predictivas más frecuentes podrían identificar fallas antes de que causen interrupciones.
3. Reducir el número de fallas mediante estrategias proactivas de mantenimiento predictivo puede aumentar significativamente el TMEF, fortaleciendo la confiabilidad del sistema a largo plazo.
4. En ambientes de alta exigencia, como operaciones mineras o portuarias, una TMEF elevada reduce la incidencia de interrupciones no planificadas, lo que asegura la continuidad operativa de los procesos críticos.

5.4.2. Cálculo de la Tasa Media para Reparación (TMPR)

La **Tasa Media para Reparación (TMPR)** mide el tiempo promedio necesario para reparar una falla y devolver el sistema a su estado operativo. Este indicador es crítico para evaluar la mantenibilidad del sistema.

Ecuación 4 - 2 TMPR

$$TMPR = \frac{\text{Tiempo Total de Reparación}}{\text{Número de Averías}}$$

$$TMPR = \frac{18 \text{ horas}}{3 \text{ Averías}} = 6 \text{ Horas}$$

Interpretación:

1. Este tiempo promedio de reparación indica que cada falla requirió 6 horas para ser completamente resuelta. Esto incluye la detección, diagnóstico, reparación y pruebas posteriores.
2. Aunque el tiempo es eficiente, existe margen de mejora mediante:
 - Optimización del flujo de trabajo: Implementar un plan de contingencia para agilizar la movilización de equipos técnicos.
 - Gestión de repuestos: Garantizar la disponibilidad inmediata de componentes críticos como aisladores, terminales y herramientas especializadas.
 - Automatización del diagnóstico: Usar tecnologías avanzadas para identificar la raíz de las fallas más rápido.
3. • Una TMR menor no solo mejora la disponibilidad operativa, sino que también reduce el impacto económico de las fallas, ya que minimiza los tiempos de inactividad.

5.4.3. Cálculo de la Confiabilidad (R(t))

La **confiabilidad (R(t))** mide la probabilidad de que el sistema funcione sin fallas durante un período específico. Se calcula usando la fórmula exponencial:

Ecuación 4 - 3 Confiabilidad

$$R_t = e^{-\frac{\text{Tiempo total de Reparacion}}{TMEF}}$$

$$R_t = e^{-\frac{18}{2914}} = 0,9938(99.38\%)$$

Interpretación:

1. Alta probabilidad de operación sin fallas

Un valor de confiabilidad de 99.38 % indica que el sistema tiene una alta probabilidad de operar sin interrupciones durante el período analizado (18 horas). Esto demuestra un comportamiento robusto del sistema bajo condiciones normales de operación.

2. Estabilidad operativa

Este resultado refleja que el sistema tiene buena estabilidad operativa y control sobre el desarrollo de fallas. Sin embargo, este nivel de confiabilidad puede mantenerse solo si se realizan inspecciones regulares y se abordan las anomalías detectadas de manera oportuna.

3. Impacto de las inspecciones predictivas

- Las pequeñas anomalías no detectadas podrían comprometer esta confiabilidad si no se incrementa la frecuencia de inspecciones predictivas, especialmente en componentes críticos como aisladores, conexiones y conductores.
- La termografía infrarroja, junto con técnicas avanzadas de análisis, puede ser clave para identificar fallas potenciales antes de que afecten la operación.

5.4.4. Cálculo de la Mantenibilidad (M(t))

La **mantenibilidad (M(t))** mide la probabilidad de que una falla sea reparada dentro de un tiempo específico o antes de ese tiempo promedio de reparación. Este indicador es fundamental para evaluar la capacidad de respuesta y eficiencia del equipo de mantenimiento frente a fallas. La fórmula utilizada para este cálculo es la siguiente:

Ecuación 4 - 4 Mantenibilidad

$$M_t = 1 - e^{-\frac{\text{Tiempo Total de Reparación}}{TMPR}}$$

$$M_t = 1 - e^{-\frac{18}{6}} = 1 - e^{-1} = 1 - 0,04978 = 0,9502 \text{ (95,02\%)}$$

Interpretación:

1. Probabilidad de éxito en la reparación:

Existe una probabilidad del 95.02% de que las fallas sean reparadas dentro del tiempo promedio establecido (6 horas), lo cual refleja una capacidad eficiente de mantenimiento.

2. Oportunidades de mejora:

El 4.98% restante de las fallas podría requerir tiempos superiores al promedio para su reparación. Para mejorar este aspecto, se sugieren las siguientes acciones:

- Reduzca el tiempo de diagnóstico inicial mediante herramientas avanzadas.
- Incrementar la disponibilidad de herramientas y repuestos críticos.
- Capacitar al personal para resolver fallas complejas de manera más rápida.

3. Impacto técnico:

Una alta mantenibilidad reduce el tiempo de inactividad y los costos asociados, mejorando la continuidad de operaciones críticas como el transporte de energía en la línea de 23 kV.

5.4.5. Cálculo de la Disponibilidad (D(t))

La **disponibilidad (D(t))** mide el porcentaje de tiempo que el sistema está en condiciones de operar sin interrupciones. Este indicador es clave para evaluar el desempeño de los procesos de mantenimiento y su impacto en la continuidad operativa del sistema.

La fórmula utilizada para este cálculo es:

Ecuación 4 - 5 Disponibilidad

$$D_t = \frac{TMEF - TMPR}{TMEF}$$

$$D_t = \frac{2914 - 6}{2914} = \frac{2908}{2914} = 0.9979(99.79\%)$$

Interpretación

1. Altos niveles de disponibilidad:

Este valor de 99.79 % indica que el sistema está operativo prácticamente en todo momento, con un tiempo de inactividad mínimo debido a reparaciones, equivalente al 0.21 % del período total analizado.

2. Gestión eficiente de reparaciones:

El resultado refleja un excelente desempeño en la gestión de tiempos de reparación, asegurando que las intervenciones correctivas sean rápidas y efectivas, minimizando el impacto en las operaciones críticas.

3. Relevancia operativa:

En un entorno como el del Puerto Punta Totalillo, donde la continuidad de las operaciones es crucial, una alta disponibilidad garantiza que los procesos de transporte y apilamiento de concentrado de hierro no sufran interrupciones significativas.

5.4.6. Resultados del Análisis.

El análisis de los indicadores clave de desempeño (KPI) del sistema eléctrico del Puerto Punta Totoralillo revela un desempeño sobresaliente en términos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad. Estos resultados son producto de una gestión eficiente del mantenimiento y el uso de estrategias predictivas.

1. Confiabilidad del Sistema:

- **Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF):** 2914 horas, lo que equivale a más de 4 meses de operación continua entre fallas. Este indicador refleja un nivel de confiabilidad adecuado para sistemas críticos en entornos industriales desafiantes.
- El sistema demuestra estabilidad bajo condiciones normales de operación, con fallas mínimas que afectan únicamente componentes específicos, mitigadas de manera oportuna.

2. Disponibilidad Operativa:

- La disponibilidad calculada es del **99,79 %**, lo que asegura que el sistema está operativo durante casi todo el periodo analizado. Este nivel minimiza riesgos de interrupciones significativas en procesos esenciales, como el transporte y apilamiento de concentrado de hierro.

3. Gestión de Reparaciones:

- **Tiempo Medio Para Reparar (TMPR):** 6 horas, un tiempo razonable que permite la rápida recuperación del sistema ante fallas detectadas.
- La eficiencia en las intervenciones correctivas minimiza el impacto operativo, contribuyendo a la sostenibilidad y continuidad del sistema.

4. Mantenibilidad:

- La probabilidad de éxito en reparaciones dentro del tiempo promedio establecido es del **95,02 %**, reflejando un equipo técnico bien capacitado y estrategias de mantenimiento efectivas.

- Las pocas fallas que exceden el tiempo promedio son atribuibles a factores externos, como la disponibilidad inmediata de repuestos críticos.

5. **Oportunidades de Mejora:**

- Aunque los indicadores muestran resultados positivos, se identifican áreas para reforzar la confiabilidad y mantener estos niveles a largo plazo:
 - **Incrementar la frecuencia de inspecciones predictivas:** Reducir los intervalos actuales de inspección para prevenir el desarrollo de fallas críticas.
 - **Automatización y digitalización:** Integrar herramientas de monitoreo en línea para detección de anomalías en tiempo real.
 - **Gestión de inventarios:** Mejorar la disponibilidad de repuestos y herramientas críticas para reducir tiempos de reparación.

6. **Impacto Operacional:**

- Los altos niveles de disponibilidad y confiabilidad aseguran que el sistema soporte las exigencias operativas del Puerto Punta Totalillo, reduciendo riesgos asociados con fallas y optimizando la productividad.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusión

La implementación de termografía infrarroja como parte de un modelo de mantenimiento predictivo en la línea de alimentación de 23 kV del Puerto Punta Totoralillo ha permitido una transformación técnica significativa en la gestión de activos eléctricos críticos. Este proyecto ha demostrado que el uso de herramientas avanzadas como la cámara FLIR T540, en conjunto con el software FLIR Thermal Studio, posibilita un monitoreo preciso de las condiciones térmicas de componentes clave, tales como aisladores, conductores y equipos de protección. Este enfoque ha facilitado la detección temprana de anomalías térmicas, la evaluación de su criticidad y la planificación oportuna de intervenciones correctivas o preventivas.

La propuesta de modificar la frecuencia de inspección de semestral a trimestral puede verse mejorada ya que, con los datos obtenidos por esta implementación, se mejorarán tendencias de anomalías en tiempo, las cuales son fundamental para tener registros históricos, ya que con el actual programa de inspección son muy acotados los datos obtenidos. Por lo cual es necesario ejecutar cambios en este programa de inspección, para poder abordar.

La generación de registros de tendencias de temperaturas por componentes de la línea es fundamental para poder mantener un seguimiento de condición el cual, una anomalía puede verse cambia su condición y se pierde trazabilidad del componente.

El análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) permitió priorizar las intervenciones en los componentes más vulnerables y expuestos al entorno agresivo marítimo, estableciendo estrategias específicas de mantenimiento predictivo y preventivo. Estos resultados, combinados con el cálculo de indicadores clave como la confiabilidad (99.54%), la mantenibilidad (95,02%) y la disponibilidad (99.79%), el sistema eléctrico del Puerto Punta Totoralillo tiene indicadores aceptables de desempeño, con altos niveles de confiabilidad y disponibilidad.

En términos técnicos, este proyecto destaca que la termografía infrarroja no es solo una herramienta de detección, sino un eje central en la proyección de tendencias térmicas en el tiempo.

Integración en un modelo predictivo avanzado establece un precedente técnico que permite maximizar la vida útil de los activos eléctricos, garantizar la continuidad operativa del puerto y reducir los costos asociados a fallas no planificadas.

6.2. Recomendaciones

- **Ampliación del Uso de KPI:**

Incorporar nuevos indicadores de desempeño que incluyan análisis de costos asociados a fallas y reparaciones para evaluar el impacto económico del mantenimiento predictivo en la línea de alimentación de 23 kV. Dicha línea constituye un componente crítico en el sistema eléctrico del Puerto Punta Totalillo, ya que alimenta equipos esenciales como motores, filtros y correas transportadoras, cuya falla podría comprometer toda la operación.

- **Optimización del Mantenimiento Predictivo:**

Incrementar la frecuencia de inspecciones en los componentes más expuestos a las condiciones ambientales adversas, como aisladores y conductores. La línea de alimentación de 23 kV opera en un entorno marítimo donde la alta salinidad y humedad aceleran la acumulación de contaminantes, aumentando el riesgo de descargas parciales y fallas dieléctricas. Los datos de confiabilidad $R(t)$ obtenidos mediante termografía y análisis de KPI deben guiar estos ajustes.

- **Fortalecimiento de la Integración Tecnológica:**

Automatizar los reportes de Excel a partir de los datos exportados de SAP PM y FLIR Thermal Studio para consolidar la información de monitoreo de la línea de alimentación. Estos datos permitirán detectar anomalías en componentes como conexiones y terminales, que son puntos clave en la transmisión de energía a través de la línea de 23 kV.

- **Capacitación Continua:**

Capacitar al personal técnico en el manejo de herramientas como FLIR Thermal Studio y SAP PM, con un enfoque específico en la interpretación de datos de la línea de alimentación de 23 kV. Esto incluye la identificación de patrones de deterioro en aisladores y la evaluación de puntos calientes en conductores, que son indicadores tempranos de problemas críticos.

- **Replicación del Modelo**

Extender el modelo de mantenimiento predictivo basado en KPI a otras líneas de alimentación de media tensión que enfrenten condiciones similares, ejemplo línea de alimentación de torre de Entel la cual consta con 10 estructuras. La cual este modelo se puede replicar.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (ITC), S. F. (2011). Guia de Termografia para Mantenimiento Predictivo.
- Center, T. I. (2022). Manual de Termografia de Nivel I.
- FLIR, S. A. (2011). Guía informativa del uso de cámaras termográficas en aplicaciones industriales: Guía de termografía para mantenimiento predictivo.
- Gómez de la Vega, H. (s.f.). Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad en Sistemas Productivos.
- Infrared, T. C. (2023). Manual de Termografía Nivel I: Aplicaciones en Sistemas Eléctricos.
- Melsosa, R. S. (2011). Guia de la termografia infraroja: Aplicacion en Ahorro y eficiencia energetica.
- Mobley, R. K. (2002). Introducción al mantenimiento predictivo. Boston: Butterworth-Heinemann.
- Systems, F. (2022). Guía del usuario FLIR Thermal Studio.
- Teledyne, F. (2022). Técnicas de medicion y análisis térmico con camara infraroja.
- Testo, A. (2012). Termografia, Guia de bolsillo. Teoria, Aplicacion Práctica, Consejos y trucos.
- Vollmer, M., & Mollman, K.-P. (2011). Infrared Thermal Imaging.
- Vollmer, M., & Mollman, K.-P. (2018). Imágenes térmicas infrarrojas, segunda edición, Wiley, ISBN: 978-3-527-41351-5.

ANEXO A

INFORMES DE TERMOGRAFIAS



Termografía Línea Alimentación 23 Kv

Datos

Trabajo realizado Por	Gabriel Paez Oviedo - Franco Gonzalez Dvorquez
Fecha de Medicion	11-05-2023
OM	40140357

Descripción de Prioridad:

Prioridad Tipo 1	Componente con una diferencia mayor a 35°C con respecto a su adyacente. REPARACIÓN INMEDIATA (Se recomienda en las próximas 48hrs).
Prioridad Tipo 2	Componente con una diferencia de temperatura entre los 10°C y los 35°C respecto a su adyacente. REPARACIÓN EN PARADA PROGRAMADA, (se recomienda dentro los próximos 3 meses).
Prioridad Tipo 3	Componente con una diferencia inferior a 10°C con respecto a su adyacente. NO ES NECESARIO REPARAR DE INMEDIATO (se recomienda realizar un seguimiento de temperatura en el equipo).

Poste 51 Línea Alimentación Puerto



Parámetros

Emisividad	0,90
Temp. reflejada	20,0 °C
Temp. atmosférica	20,0 °C

Mediciones

Línea 1 Aislador	
Máx.	22,6 °C
Línea 2 Aislador	
Máx.	18,8 °C
Línea 3 Aislador	
Máx.	24,6 °C

Poste 52 Línea Alimentación Puerto



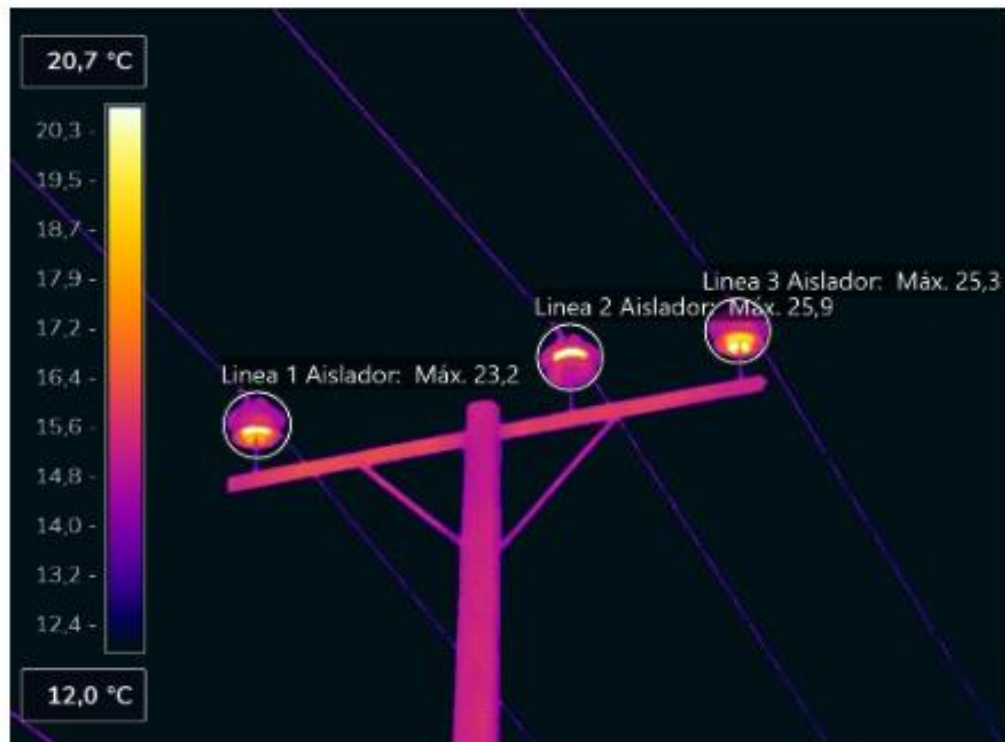
Parámetros

Emisividad	0,90
Temp. reflejada	20,0 °C
Temp. atmosférica	20,0 °C

Mediciones

Linea 1 Aislador	
Máx.	28,4 °C
Linea 2 Aislador	
Máx.	28,9 °C
Linea 3 Aislador	
Máx.	23,6 °C
Delta T*	
Linea 2 Aislador.Max-Linea 3 Aislador.Max	5,3 °C

Poste 53 Linea Alimentacion Puerto



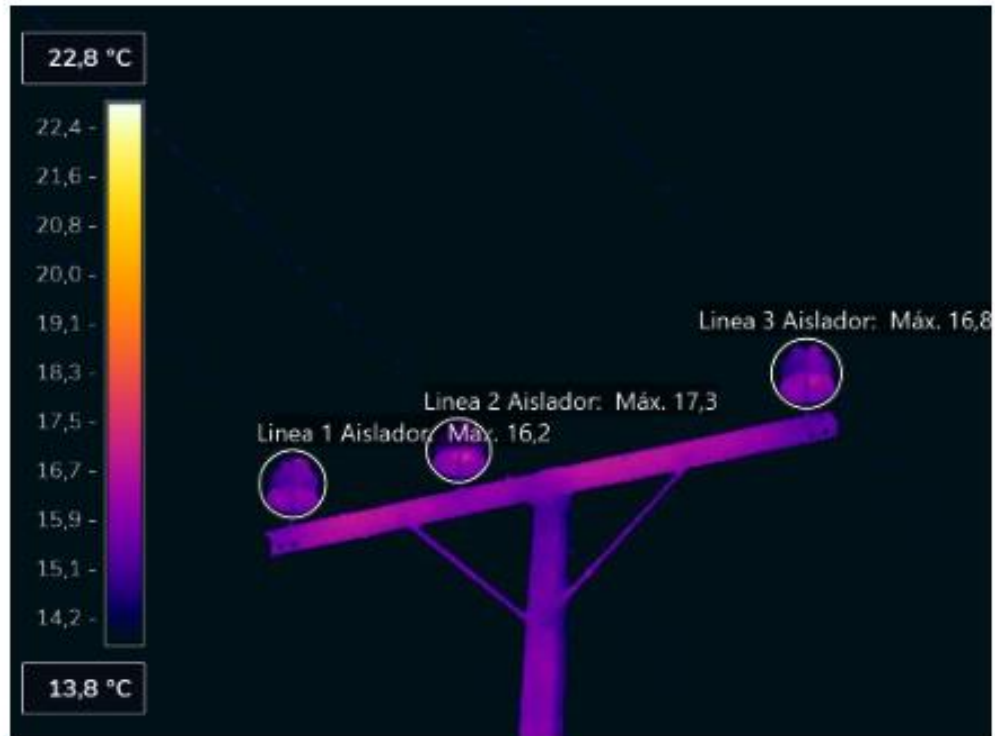
Parámetros

Emisividad	0,90
Temp. reflejada	20,0 °C
Temp. atmosférica	20,0 °C

Mediciones

Linea 1 Aislador	
Máx.	23,2 °C
Linea 2 Aislador	
Máx.	25,9 °C
Med.	14,0 °C
Min.	9,7 °C
Linea 3 Aislador	
Máx.	25,3 °C

Poste 54 Línea Alimentación Puerto



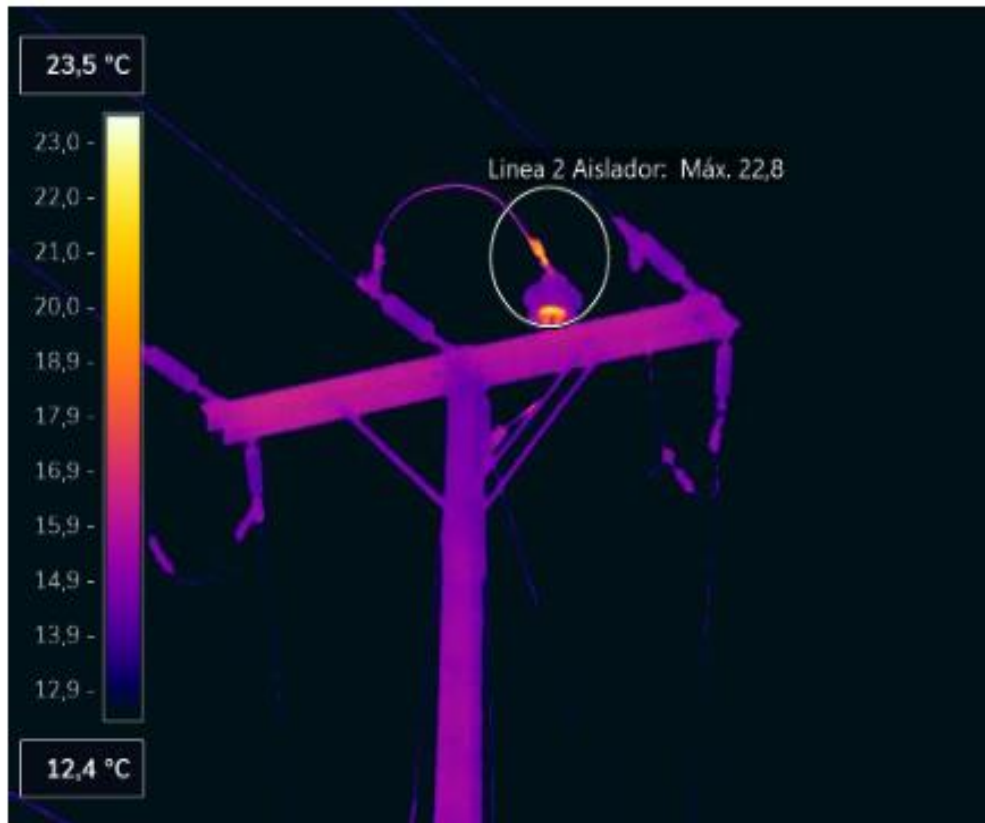
Parámetros

Emisividad	0,90
Temp. reflejada	20,0 °C
Temp. atmosférica	20,0 °C

Mediciones

Linea 1 Aislador	
Máx.	16,2 °C
Linea 2 Aislador	
Máx.	17,3 °C
Linea 3 Aislador	
Máx.	16,8 °C
Dt1	
Linea 2 Aislador.Max-Linea 1 Aislador.Max	1,1 °C

Poste 55 Linea Alimentacion Puerto



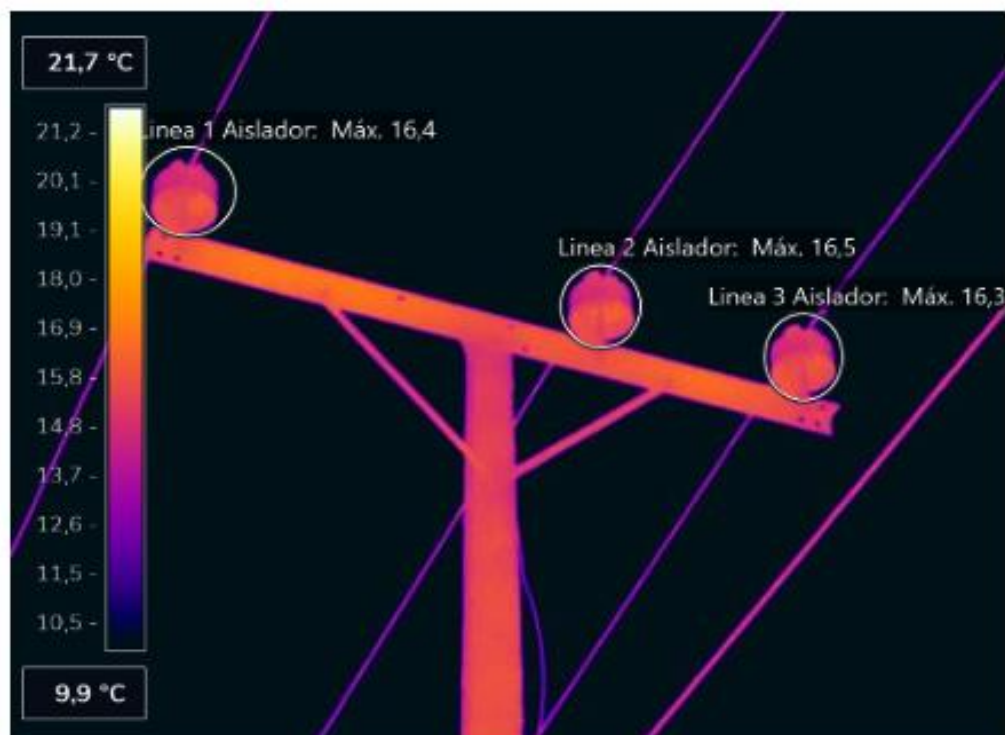
Parámetros

Emisividad	0,90
Temp. reflejada	20,0 °C
Temp. atmosférica	20,0 °C

Mediciones

Linea 2 Aislador	
Máx.	22,8 °C

Poste 56 Linea Alimentacion Puerto



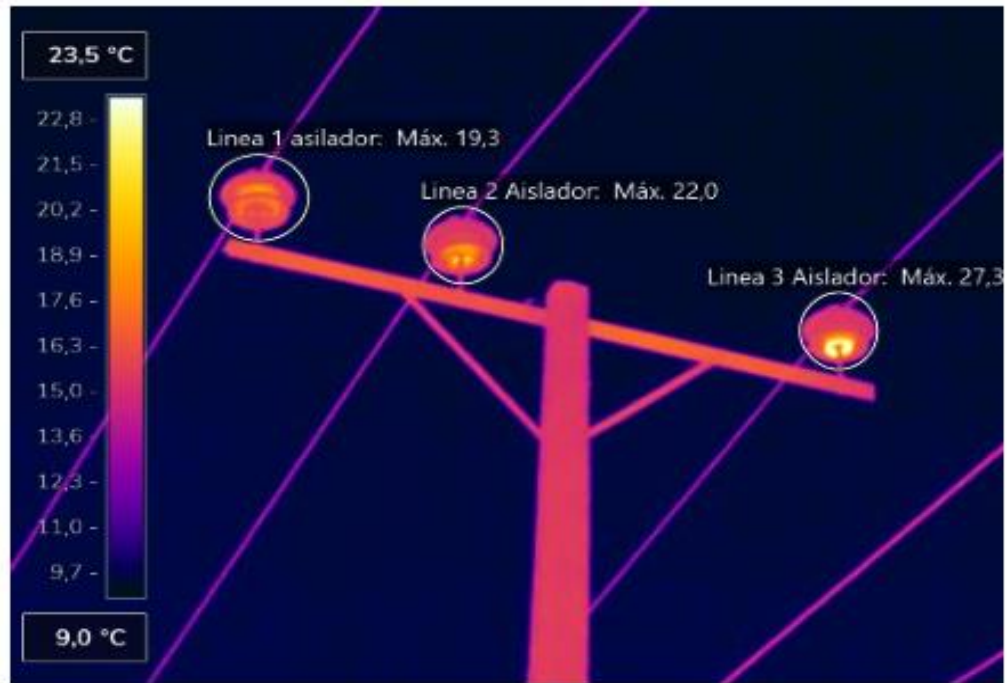
Parámetros

Emisividad	0,90
Temp. reflejada	20,0 °C
Temp. atmosférica	20,0 °C

Mediciones

Linea 1 Aislador	
Máx.	16,4 °C
Linea 2 Aislador	
Máx.	16,5 °C
Linea 3 Aislador	
Máx.	16,3 °C
Delta T*	
Linea 2 Aislador.Max-Linea 3 Aislador.Max	0,2 °C

Poste 57 Línea Alimentación Puerto



Parámetros

Emisividad	0,90
Temp. reflejada	20,0 °C
Temp. atmosférica	20,0 °C

Mediciones

Línea 1 aislador	
Máx.	19,3 °C
Línea 2 Aislador	
Máx.	22,0 °C
Med.	13,9 °C
Línea 3 Aislador	
Máx.	27,3 °C
Delta T*	
Línea 3 Aislador.Max-Línea 1 aislador.Max	8,0 °C

Observaciones

Se detecta anomalía térmica en sector interno del aislador característico de efector corona se recomienda limpieza de componentes

Poste 58 Línea Alimentación Puerto



Parámetros

Emisividad	0,90
Temp. reflejada	20,0 °C
Temp. atmosférica	20,0 °C

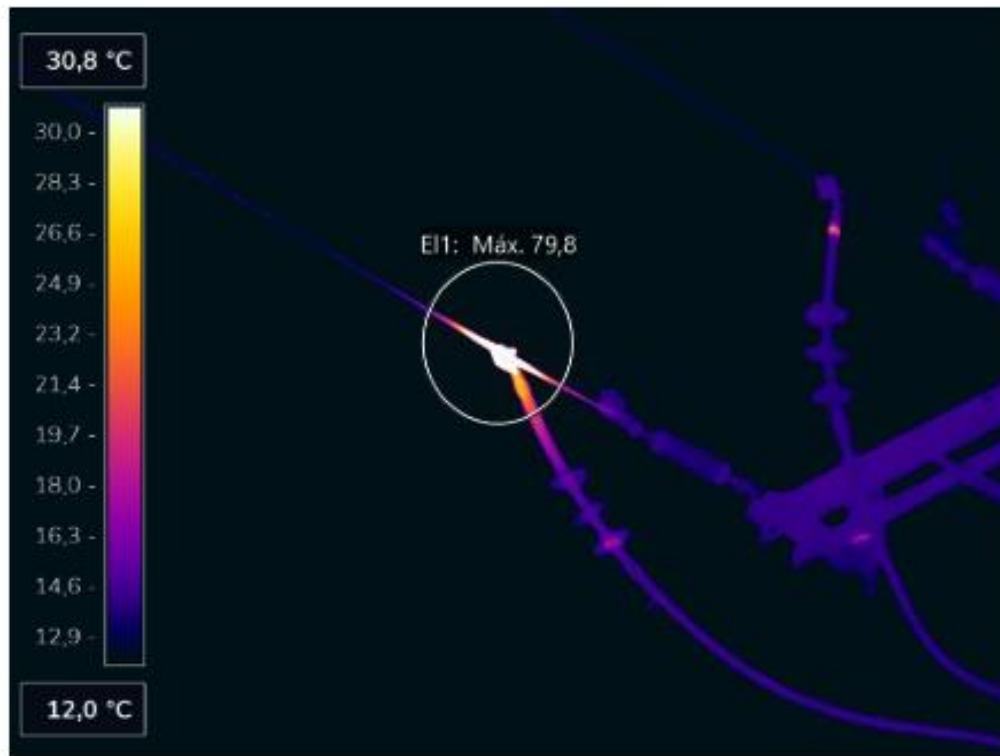
Mediciones

E11	
Máx.	52,3 °C
E12	
Máx.	24,1 °C
E13	
Máx.	27,3 °C

Observaciones

Se detecta anomalía térmica con el proceso de embarque detenido con características de gradiente térmico

Poste 58 Linea Alimentacion Puerto



Parámetros

Emisividad	0,90
Temp. reflejada	20,0 °C
Temp. atmosférica	20,0 °C

Mediciones

EI1	
Máx.	79,8 °C

Observaciones

Se detecta anomalía térmica en Puesta en servicio ruta de embarque según imagen se visualiza un gradiente térmico en prensa dicha condición es característica de soldaduras o sulfatación.

ANEXO B

INSTRUCTIVO DE MEDICIÓN DE TERMOGRAFIA

	INSTRUCTIVO Termografía Líneas de Transmisión/Distribución/Aisladores/Mufas	FOR.SSO.002 Ver.02
---	--	-----------------------

1. ANTECEDENTES GENERALES.

Proceso	Subproceso	Actividad	Tarea
Código:	Código:	Código:	Código:
3.6 Shutdown y Mantenimiento Predictivo Valle.	3.6.4 Mantenimiento Predictivo Moncon	Termografía	Termografía Líneas de Transmisión / Distribución, Aisladores y Mufas
Cant. Personal requerido	2	Especialidad	Termografía
Duración tarea	8HH	Frecuencia	Trimestral / Según programa de mantenimiento
Gerencia Ejecutora	OP Valle Copiapó	Empresa Ejecutora	CMP

2. PLANIFICACIÓN DE LA TAREA (GRP)

- 2.1 Tarea está identificada en Mapa de Procesos en GRP SAP
 2.2 Tarea cuenta con Matriz de riesgo en GRP SAP (controles)
**Si es NO se debe agregar en Matriz previa a la ejecución de los trabajos*

SI	NO
X	
X	

Nivel Riesgos	
Puro	Residual
30	2

- 2.3 EPF asociado a la tarea.

EPF ESTANDAR DE PREVENCIÓN DE FATALIDAD			
EPF CONDUCCION DE VEHICULOS LIVIANOS	X	EPF TRABAJO ESPACIOS CONFINADOS	
EPF AISLAMIENTO Y BLOQUEO		EPF FALLA DE TERRENO Y ESTRUCTURA	
EPF OPERACION DE EQUIPOS		EPF IZAJE Y CARGAS SUSPENDIDAS	
EPF TRABAJOS CON EXPLOSIVOS Y TRONADURA		EPF CONTROL DE EMERGENCIA POR INCENDIOS	
EPF OPERACIONES FERROVIARIAS		EPF OPERACIONES PORTUARIAS	
EPF TRABAJOS EN ALTURA		EPF COVID 19	X
EPF ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE SUSTANCIAS PELIGROSAS			

3. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

N°	Descripción	Cantidad	Unidad
01	Computador con acceso a la red CMP – Libro electrónico de Permisos (LEP) – SAP	01	Unidad
02	Cámara Termográfica	01	Unidad
03	Batería para cámara termográfica	02	Unidad
04	Cable de comunicación tipo USB	01	Unidad
05	Computador con software analizador de termograma	01	Unidad
06	Equipo de Radio Comunicación	01	Unidad
07	Camioneta	01	Unidad

Pasos de la tarea (Id /Foto)	Descripción	Riesgos (Matriz Riesgos)	Descripción del Control (Matriz Riesgos)
Se solicita equipo	Registro LEP de la actividad	Exposición a movimiento repetitivo	Realizar pausas de descanso y ejercicios compensatorios 5 -10min por cada hora de trabajo continuo o cada vez que el trabajador de sienta fatigado- Utilizar apoya muñecas para teclado y mouse, utilizar filtro para pantalla de Pc
Preparación de cámara termográfica y sus 2 baterías cargadas	Preparar previamente la cámara termográfica y cargar sus baterías	No aplica	No aplica
EPFs_ Estándar de prevención de fatalidades	Conducción de vehículo hacia los distintos puntos de medición	Choque por otro vehículo	Realizar check list del vehículo, tener el curso de manejo a la defensiva.

conducción de vehículos y operación de equipos Apoyo y/o conducción de vehículo			licencia de conducir vigente, psicosenotécnico, curso de higiene del sueño.
		Choque contra objetos o estructura fija	Realizar check list del vehículo, tener el curso de manejo a la defensiva, licencia de conducir vigente, psicosenotécnico ,curso de higiene del sueño.
		Atropello	Realizar check list del vehículo, tener el curso de manejo a la defensiva, licencia de conducir vigente, psicosenotécnico, curso de higiene del sueño.
Realizar termografía desde poste 01 a 58 y mufas	Realizar la termografía a los 58 postes que están en la ruta.	Exposición a radiación ultravioleta	Anteojos o Careta facial, guantes de cabritilla, zapatos de seguridad, casco, ropa de trabajo, bloqueador solar, legionaria.
		Caída a diferente nivel	Uso de anteojos, guantes de cabritilla, zapatos de seguridad, casco, ropa de trabajo, bloqueador solar, legionaria.
		Caída al mismo nivel	Uso de anteojos, guantes de cabritilla, zapatos de seguridad, casco, ropa de trabajo, bloqueador solar, legionaria.
Realizar análisis de imágenes termográficas en software	Revisar en el pc con el programa de análisis las fotos que fueron tomadas	Exposición a movimiento repetitivo	Realizar pausas de descanso y ejercicios compensatorios 5 -10min por cada hora de trabajo continuo o cada vez que el trabajador de sienta fatigado- Utilizar apoya muñecas para teclado y mouse, utilizar filtro para pantalla de Pc
Protocolo Covid-19	Evitar el contagio COVID-19 durante el desarrollo de la tarea	Exposición a agentes biológicos (virus, bacterias, hongos, parásitos, vectores)	Protocolo COVID-19 CMP Realizar encuesta antes de iniciar traslado a faena, distancia social 1.5mt, no mezclar células de trabajo, lavado constante de manos, uso de alcohol gel, mascarilla Kn95 - guantes realizar reuniones en terreno

4. Control de cambio.

Revisión N°	Descripción	Responsable	Fecha