

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



“USO DE LA TECNOLOGÍA INFRARROJA (IR) PARA EL
MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES CON AISLAMIENTO DE
AIRE CONVENCIONAL (AIS) DE ALTA TENSIÓN EN PERÚ”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRICISTA

AUTOR: ALFARO MUNARRIZ ALDO

ASESORA: MAG. MEZA ZAMATA JESSICA ROSARIO

Two handwritten signatures in black ink. The top signature is "Alfaro" and the bottom signature is "Jessica Rosario".

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2022

PERÚ

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

TÍTULO: “USO DE LA TECNOLOGÍA INFRARROJA (IR) PARA EL MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES CON AISLAMIENTO DE AIRE CONVENCIONAL (AIS) DE ALTA TENSIÓN EN PERÚ”

AUTOR: ALDO ALFARO MUNÁRRIZ

ORCID: 0000-0001-6309-1948

DNI: 40421070

ASESORA: JESSICA ROSARIO MEZA ZAMATA

ORCID: 0000-0002-7999-9464

DNI: 43266709

LUGAR DE EJECUCIÓN: LIMA

UNIDAD DE ANÁLISIS: EQUIPAMIENTO SUBESTACIÓN DE ALTA TENSIÓN

TIPO DE INVESTIGACIÓN: TECNOLÓGICA - APLICADA

ENFOQUE: CUANTITATIVO

DISEÑO: EXPERIMENTAL

TEMA OCDE: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

MIEMBROS DEL JURADO

DR. SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ : PRESIDENTE

DR. ADAN ALMIRCAR TEJADA CABANILLAS : SECRETARIO

MG. ERNESTO RAMOS TORRES : VOCAL

MG. ANTENOR LEVA APAZA : SUPLENTE

ASESORA: Mg MEZA ZAMATA, JESSICA ROSARIO

N° DE LIBRO : 2

FOLIO: : 201

FECHA DE APROBACIÓN : 25 DE OCTUBRE DEL 2022

RESOLUCIÓN DIRECTORAL : N° 115-2022-DPFIEE



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
ACTA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL POR LA MODALIDAD DE
TESIS SIN CICLO DE TESIS

A los 25 días del mes de octubre del 2022 siendo las 10:00 Horas se reunió el Jurado Examinador de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica conformado por los siguientes Docentes Ordinarios de la Universidad Nacional del Callao, (RESOLUCIÓN DECANAL N° 115-2022-DFIEE).

Dr. Ing. SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ	Presidente
Dr. Lic. ADAN ALMIRCAR TEJADA CABANILLAS	Secretario
Mg. Ing. ERNESTO RAMOS TORRES	Vocal

Con el fin de dar inicio a la exposición de Tesis del señor Bachiller **ALFARO MUNARRIZ, Aldo**, quien habiendo cumplido con los requisitos para obtener el Título Profesional de Ingeniería Eléctrica tal como lo señalan los Arts. N° 12 al 15 del Reglamento de Grados y Títulos, sustentará la Tesis Titulada **“USO DE LA TECNOLOGÍA INFRARROJA (IR) PARA EL MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES CON AISLAMIENTO DE AIRE CONVENCIONAL (AIS) DE ALTA TENSIÓN EN PERÚ”**, con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la exposición, considerando lo establecido en los Art. N° 14 y 17 del Reglamento de Grados y Títulos dado por Resolución N° 047-92-CU, en el Capítulo N° 06, corresponde al otorgamiento del Título Profesional con Tesis, efectuadas las deliberaciones pertinentes se acordó:

Dar por APROBADO Calificativo BUENO nota: 15 del expositor Bachiller **ALFARO MUNARRIZ, Aldo** con lo cual se dio por concluida la sesión, siendo las 12:00 horas del día del mes y año en curso.

Es copia fiel del folio N° 201 del Libro de Actas de Sustentación de Tesis de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – UNAC.


.....
PRESIDENTE
Dr. Ing. SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ


.....
SECRETARIO
Dr. Lic. ADÁN ALMÍRCAR TEJADA CABANILLAS


.....
VOCAL
Mg. Ing. ERNESTO RAMOS TORRES



DEDICATORIA

Para Alex, Alexandra, Algodón, Analía, Andrea, Andrés, Andrew, Ángela, Báksic, Daysi, Prince, Raquel, Ronaldo y Ronaldinho.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, sin Él nada tendría sentido.

A mis padres Andrés y Daysi, por criarme, apoyarme y soportarme.

A mi esposa Raquel, por su amor, el cual me permitió el empujón que me faltaba para terminar la carrera.

A mis hijos, hermanos y sobrinas, quienes confiaron en mí en todo momento.

Al Dr. Juan Grados, por su orientación al inicio de este trabajo de investigación.

A mi asesora, Mg. Jessica Meza, por aportar su experiencia en el desarrollo del presente trabajo.

Al ingeniero Daniel Vaillant, una gran persona amiga de mi familia.

Aldo Alfaro Munarriz

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	7
RESUMEN	8
RÉSUMÉ.....	9
INTRODUCCIÓN	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1. Determinación del problema	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.2.1. Problema general	12
1.2.2. Problemas específicos	12
1.3. Objetivos	12
1.3.1. Objetivo general	12
1.3.2. Objetivos específicos.....	12
1.4. Justificación	13
1.4.1. Justificación teórica	13
1.4.2. Justificación tecnológica.....	13
1.4.3. Justificación económica.....	13

1.4.4. Justificación social.....	13
1.5. Delimitantes de la investigación.....	14
II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes del estudio.....	15
2.1.1. Antecedentes internacionales	15
2.1.2 Antecedentes nacionales	17
2.2. Bases teóricas	19
2.3. Marco conceptual.....	35
2.4. Definición de términos básicos	40
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	42
3.1. Hipótesis (General y específicas)	42
Hipótesis general	42
Hipótesis específicas	42
3.1.1. Operacionalización de variables	42
Mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión	42
Variable independiente:	42
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	43
4.1. Diseño metodológico.....	43
4.2. Método de investigación.....	43

4.3. Población y muestra	43
4.4. Lugar de estudio.....	43
4.5. Técnicas e instrumentos para la de recolección de datos.....	43
4.5.1. Instrumentos para la recolección de la información.....	44
4.6. Análisis y procesamiento de datos.....	44
4.7. Aspectos éticos de la investigación	44
V. RESULTADOS.....	45
5.1. Resultados descriptivos	45
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
VII. CONCLUSIONES.....	61
VIII. RECOMENDACIONES	62
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
X. ANEXOS.....	69
Anexo 1. Matriz de consistencia	69
Anexo 2. Especificaciones técnicas de FLIR T420.....	71
Anexo 3. Termohigrómetro Fluke 971	73
Anexo 4. Instructivo de inspección termográfica Omega Perú INT-M-108 ...	74
Anexo 5. Diagrama de planta de patio de llaves de SE Kiman Ayllu 220 kV	77
Anexo 6. Diagrama de planta de SE Chilca 500 kV	78

Anexo 7. Certificados de calibración de equipos utilizados	79
Anexo 8. Formato de AST	82
Anexo 9. Informe de termografía	82
Anexo 10. Informe de termografía	83
Anexo 11. Instructivo de inspección termográfica	87
Anexo 12. Entrevistas.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Detección termográfica en línea de transmisión	18
Figura 2. Región IR del Espectro Electromagnético (EEM)	25
Figura 3. Medida de temperatura corporal de especies, un ejemplo de como la radiación se vuelve visible	26
Figura 4. Emisividad, reflexión y transmisión de cuerpo negro	28
Figura 5. Sistema termográfico para ensayos de termografía activa	35
Figura 6. Sistema de adquisición de imágenes por Termografía Infrarroja activa. La posición de la fuente de calor establece si la adquisición se produce en reflexión o en transmisión.	37
Figura 7. Plano de Disposición de Equipos de Planta de subestación Chilca..	48
Figura 8. Vista preliminar de termograma.	48
Figura 9. Termograma llevado al software.	49
Figura 10. Termograma llevado a la hoja de Excel del informe	50
Figura 11. Plano de Disposición de Equipos de Planta de subestación Kiman Ayllu	51
Figura 12. Vista preliminar de termograma.	51
Figura 13. Termograma llevado al software.	52
Figura 14. Termograma llevado a la hoja de Excel del informe	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de conductividad	22
Tabla 2. Tabla de emisividad de algunos materiales	34
Tabla 3. Sistema de valoración de T ⁰ y acciones sugeridas	40
Tabla 4. EPP requeridos para los trabajos de campo.	46

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula de de transferencia de calor	21
Ecuación 2. Ley de enfriamiento de Newton	23
Ecuación 3. Fórmula de coeficiente de convección	24
Ecuación 4. Longitud de onda del pico de emisión	29
Ecuación 5. Ley de Stefan Boltzmann	29
Ecuación 6. Ley de Planck.....	30
Ecuación 7. Ley de Kirchoff de termografía infrarroja	32

RESUMEN

El presente trabajo de ingeniería abarca la metodología de trabajo usando la tecnología del infrarrojo (IR) para la toma de muestras termográficas en equipos de patio de subestaciones eléctricas convencionales de alta tensión.

La termografía es una herramienta esencial en el mantenimiento predictivo de alta tensión, puesto que ayuda a determinar el estado de los equipos más importantes que conforman una subestación eléctrica, como los transformadores, reactores, interruptores, entre otros, y tomar decisiones en base a los resultados obtenidos. Con capacitación profesional y algo de experiencia un termógrafo puede localizar rápidamente conexiones de alta resistencia, desequilibrios de carga y sobrecarga mientras el sistema está en operación, sin contacto directo con el sistema energizado.

La prevención de fallas catastróficas y los apagones no programados a menudo dan resultado un ahorro de costos muy superior al costo del programa y el equipo de prueba.

Por tal motivo, se consideró el uso de la tecnología IR como una herramienta indispensable del operador, y se espera que este trabajo sirva como precedente para el mantenimiento en subestaciones de 60 kV, 138 kV y 220 kV con tecnología AIS.

RÉSUMÉ

Le présent travail d'ingénierie porte sur la méthodologie de travail utilisant la technologie infrarouge (IR) pour le prélèvement d'échantillons thermographiques sur des équipements de cour des sous-stations électriques conventionnelles à haute tension.

La thermographie fait partie des outils essentiels de la maintenance prédictive haute tension, car elle permet de déterminer l'état des équipements les plus importants qui composent une sous-station électrique, tels que les transformateurs, les réacteurs, les interrupteurs, entre autres, et de prendre des décisions en fonction des résultats obtenus.

Avec une formation professionnelle et une certaine expérience et l'avancement technologique, un thermographe peut rapidement localiser les connexions à haute résistance, pertes d'isolation, les déséquilibres de charge et les surcharges pendant que le système est en fonctionnement, sans contact direct avec le système sous tension.

La prévention des dommages aux équipements et des pannes imprévues pour la clientèle, entraîne souvent des économies de coûts bien supérieures au coût du programme de test et de l'équipement.

Pour cette raison, l'utilisation de la technologie IR a été considérée comme parmi les outils essentiels pour l'opérateur, et nous espérons que ce travail servira de précédent pour la maintenance des sous-stations 60 kV, 138 kV et 220 kV avec technologie AIS.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la misión del mantenimiento de subestaciones de alta tensión, es de brindar una alta confiabilidad y disponibilidad funcional de sus equipos, resguardando la seguridad, salud de las personas, con responsabilidad social y cuidado del medioambiente, optimizando los costos y así brindar una transmisión eléctrica eficiente.

El presente proyecto de tesis se enfoca en la importancia de la termografía infrarroja (IR) la realización de mantenimiento de prevención, una técnica que reduce los tiempos de atención de los equipos de potencia en los patios de llaves (AIS) de alta tensión, con el fin de obtener la menor indisponibilidad para el servicio. El modelo planteado propone demostrar, a través del análisis de tomas de muestras termográficas reales en subestaciones, que esta herramienta infrarroja es de vital importancia para el operario de mantenimiento y operación.

La termografía infrarroja es una técnica con numerosas aplicaciones en diversos campos técnicos, entre ellos, los sistemas de vapor, rubro de construcción, fines médicos, no obstante, debido al enfoque de la presente investigación, su uso se centró en el sector de servicio eléctrico de alta tensión.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Determinación del problema

Los equipos de potencia son considerados elementos primordiales para la conformación de módulos de subestaciones eléctricas, y sus mantenimientos adecuados hacen posible que el fluido eléctrico no se interrumpa, de una manera eficiente y salvaguardando la seguridad de las personas.

Entre estos tipos de mantenimiento se encuentra el predictivo, el cual se encarga de comprobar si hay fallas potenciales en los equipos, y que tiene en la termografía infrarroja, uno de los métodos más utilizados por las empresas de operación y mantenimiento de subestaciones eléctricas de alta tensión.

La termografía infrarroja (IR) es una técnica mediante la cual se puede realizar la detección y medición de la temperatura de un cuerpo en base de los niveles de radiación ubicada en el espectro IR.

La ejecución de la técnica termográfica para el mantenimiento en el sector eléctrico para análisis de sistemas, permite la ubicación de zonas de alta temperatura, falsos puntos de contacto, desbalance de carga entre fases, monitoreo en sistemas mecánicos, etc.

De forma sintética, la medición termográfica posee una repercusión grande en diferentes campos de praxis, sobre todo en el sector industrial, área que se ve beneficiada en la reducción de porcentaje de riesgos laborales, disminución con menores costos productivos, mediciones sin necesidad de paro laboral por mantenimiento y sin vulneración física del equipo.

Elaborar un instructivo de termografía infrarroja en patios de llaves de subestaciones AIS de alta tensión, ayudará a brindar una alta confiabilidad y disponibilidad funcional de sus equipos, resguardando la seguridad y salud de las personas, con responsabilidad social y cuidado del medio ambiente, optimizando los costos de mantenimiento, bajo una revisión periódica de la

gestión basada en la mejora continua, para brindar un buen servicio de transmisión.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- **PG:** ¿En qué medida el uso de tecnología infrarroja (IR) aplicada en la termografía, ayudará a mejorar el mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión en Perú?

1.2.2. Problemas específicos

- **PE1:** ¿Qué parámetros de termografía infrarroja (IR) se debe tener en cuenta en los trabajos de campo?
- **PE2:** ¿Cómo identificar los componentes eléctricos defectuosos con la aplicación de la termografía infrarroja (IR)?
- **PE3:** ¿Qué plan de mantenimiento se debe realizar para determinar el diagnóstico el impacto de la tecnología infrarroja en las subestaciones AIS?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- **OG:** Usar de la termografía infrarroja (IR) para mejorar el mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión en Perú.

1.3.2. Objetivos específicos

- **OE1:** Determinar los parámetros de termografía infrarroja (IR) que se debe tener en cuenta en los trabajos de campo
- **OE2:** Determinar la aplicación de la termografía infrarroja (IR) para la identificación de componentes eléctricos de alta tensión defectuosos
- **OE3:** Elaborar un plan de mantenimiento para determinar el diagnóstico del uso de las tecnologías infrarrojas aplicadas a las subestaciones AIS

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

El uso de la termografía infrarroja en patios de llaves de subestaciones AIS de alta tensión, ayudará a brindar una alta confiabilidad y disponibilidad funcional de sus equipos, resguardando la seguridad y salud de las personas, con responsabilidad social y cuidado del medio ambiente, optimizando los costos de mantenimiento, bajo una revisión periódica de la gestión basada en la mejora continua, para brindar un buen servicio de transmisión, que proveerá de datos que servirán para perfeccionarlos y ajustarlos en futuros instructivos.

La correcta interpretación de las imágenes térmicas debe ser una de las herramientas más importantes dentro del diagnóstico de equipos de potencia en el mantenimiento de subestaciones de alta tensión, pues puede predecir fallos y paralizaciones del fluido eléctrico, que supondrán ahorros en costos no previstos.

1.4.2. Justificación tecnológica

La toma termográfica se hace sin la necesidad de dejar sin energía o detener una máquina, sin contacto físico y, como no necesita refrigeración, las cámaras de esta tecnología han disminuido su tamaño y peso, y pueden ser manejadas con facilidad por una persona.

1.4.3. Justificación económica

La detección rápida de fallas en los equipos de potencia puede evitar la interrupción del suministro ofreciendo así un mejor servicio y minimizando las pérdidas económicas.

1.4.4. Justificación social

La implementación de un adecuado uso de la termografía infrarroja (IR) se soporta en procesos rigurosos y excelentes, seguros para las personas, en equilibrio con el ambiente y socialmente responsables.

1.5. Delimitantes de la investigación

El horario de tomas termográficas, las condiciones ambientales y operativas, los procedimientos de recopilación de datos inadecuados y una comprensión deficiente de cómo usar esta información son factores muy limitantes.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

(Torres Leones 2021) en su tesis de grado de ingeniero eléctrico mecánico con mención en gestión empresarial industrial de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil presentó un trabajo de investigación, el cual planteó objetivos que brindaron un panorama del impacto de las técnicas termográficas como plan de monitoreo para submódulos de alta tensión y la infraestructura física que los componen, todo ello realizado por medio de técnicas diagnósticas de valores de cantidades de calor registradas en los sondeos, las cuales fueron validadas con el fundamento teórico que sustenta su uso dentro de la gestión. Los resultados obtenidos representaron información beneficiosa para realizar un modelo propio de planes de mantenimiento, rangos de valores, y cómo estas se aplican a un caso particular para así ser extrapolado en una posible nueva tesis.

(Hernández, Óscar y Pérez 2020) indicaron que el principal enfoque de su investigación fue considerar análisis, caracterización y clasificación de defectos en módulos fotovoltaicos a través del uso de tecnología termográfica infrarroja (IRT) para la detección, identificación y caracterización de defectos en función de patrones de fallas que permitan la consolidación de sistemas más eficaces y seguros. Concluyendo que los enfoques deseables para el uso de esta tecnología es la de inspecciones aéreas de plantas FV, asimismo nos muestra con efectividad el uso de instrumentos externos que se utilizan para la medición termográfica, como es el caso de la cámara Cat S60 montada en un dron de reconocimiento DJI Mavic Pro.

(Santamaría Holek 2012), gerente de la empresa Tecnología Avanzada para mantenimiento SA, en su ensayo del 2012 sostiene que, en el ámbito de la medición, existen diversas variables que pueden afectar los resultados respecto a medidas de temperatura de los equipos de alta tensión. Entre los principales se encuentran: variación de temperatura entre dos objetos, capacidad conductiva térmica de los materiales evaluados, permisividad térmica del medio,

ángulo de mira entre el lector y objeto, factores ambientales, entre muchos otros que varían las medidas infrarrojas reales. Pese a que la medición termográfica posee una simple definición en su concepto, la realidad es una muy distinta, puesto que la omisión de las variables mencionadas puede generar resultados erróneos, mismos que al momento de realizar un plan de mantenimiento, o requerimiento dentro de una empresa, puede desembocar en la errónea forma de tomar el estado estructural de equipos, pérdidas económicas para la empresa, retraso en la optimización de maquinarias, etc.

(Serrano Malagón y Núñez Campo Aury Margarita 2011) en su tesis de posgrado, mencionan en la página 46 una conclusión acerca de la implementación de la termografía IR. Misma que refiere la utilidad de las mediciones de calor por termografía, definiéndolas como rápidas, eficaces, no invasivas. Ello aporta a la investigación, debido a que mediante la constatación de la hipótesis de la tesis, se clarifica el buen aporte que supone la implementación de los métodos expuestos a fin de brindar un efectivo plan de mantenimiento.

(González Arbesú 2000) comenta que el uso de tecnología de infrarrojos tiene una amplia utilidad para obtención de diagramas de radiación, es también una tecnología que permite entender de mejor forma los fenómenos de radiación. Además de existir aplicaciones prácticas que usan ese tipo de radiación. Concluyendo que la termografía de rayos infrarrojos es una técnica de alta precisión, económica para la aplicación en diferentes ámbitos del diseño de antenas y diagramación.

(Weihui Fu 2000), tesista doctoral de la Iowa State University de Estados Unidos, señala que los equipos electromecánicos son vulnerables a fallar en cualquier tiempo y de cualquier modo; a lo largo de los años ha sido complicado determinar el impacto de dichas fallas y las búsquedas de solución, no obstante, es preciso conocerlas a través de análisis, a priori de que el equipo presente fallas. Las cámaras termográficas logran identificar y realizar un diagnóstico previo para

realizar avisos de alerta y se pueda elaborar un plan de acción ante la detención de actividades por una falla intempestiva.

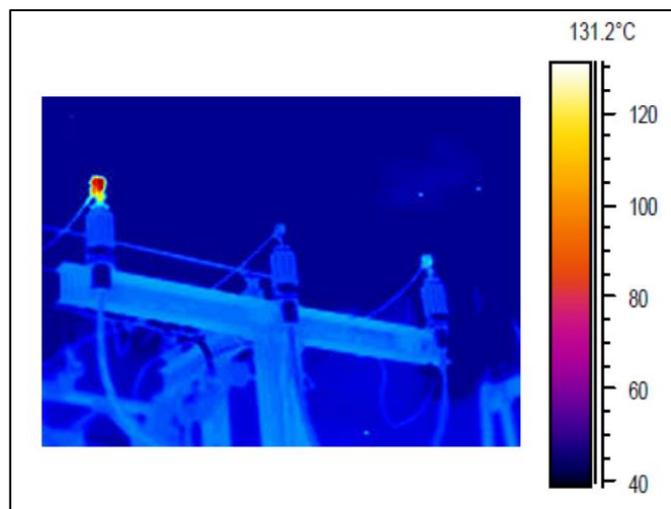
2.1.2 Antecedentes nacionales

(Bances Vidaurre 2020) en su tesis de grado para obtener el título profesional de ingeniero mecánico eléctrica, realizó una investigación de carácter aplicada y cuasiexperimental tomando como variables: optimización del sistema eléctrico y el plan de mantenimiento predictivo como medio de mejora al proceso de la empresa. En la investigación se observa la forma en la cual se toman de forma análoga ambas variables para realizar un cruce en el título proporcionado por el autor. A su vez, se hace mención de la muestra tomada como 3 circuitos del total contabilizados en la empresa Coelvisac. Se ejecutaron las técnicas encuesta, observación y revisión documentaria para determinar si el método fue eficiente. Se obtuvo de los resultados que la detección de fallas tempranas aumentando un 3.5% de disponibilidad de los equipos, gracias a esta técnica de jerarquización de sistemas y equipos. De la investigación presentada se obtiene un alcance de cómo una de las variables, en la investigación "optimización del sistema eléctrico" tiene relación con el mantenimiento que se aborda en la presente investigación.

(Poma Vilcahuaman 2012) en su tesis de grado de ingeniero electricista Universidad Nacional del Centro del Perú, muestra su investigación donde se propuso una solución del problema presente en la unidad de mantenimiento de subestaciones ante una falta de procedimiento protocolar. Ante la premisa expuesta, el investigador propuso un instrumento teórico-práctico, mismo del cual se obtuvieron resultados oportunos respecto a las rutinas empleadas, ello permite realizar una mejora efectiva con posibilidades de evolución. A la vez, se determinó que la termografía permite identificar fallas externas en los equipos y ello no es suficiente para emitir juicios exactos sobre fallas internas. Por otro lado, la termografía infrarroja, permitió con precisión ejecutar un mantenimiento planificado con predicción a eventos adversos, con ello se demuestra no solo efectividad en reconocimiento de fallas, sino de ejecución, sin interrupciones al

momento de puesta en marcha de los equipos. La presente investigación, realiza un aporte significativo en aras de una correcta viabilidad del tema elegido y brinda una guía de abordaje ante casos particulares, así como de forma genérica la validez de antítesis de formas tradicionales de mantenimiento, demostrando de forma a priori la efectividad de la técnica propuesta.

Figura 1. Detección termográfica en línea de transmisión



Fuente: (Poma Vilcahuaman 2012)

(Farias Pesua 2000) en su tesis de la Universidad Nacional del Callao concluye que la termografía infrarroja ayuda a detectar oportunamente fallas incipientes en los sistemas eléctricos. Su aplicación trae beneficios en ahorros por adquisición de repuestos para el mantenimiento correctivo y la horas - hombre que esto implica. Se evita discontinuidad en el desarrollo normal de los procesos de plantas por paradas inesperadas debidas a fallas eléctricas. Para conocer las condiciones de operación y mantenimiento de subestaciones eléctricas de alta tensión en nuestro país, se ha tomado las exposiciones “Metodologías modernas de mantenimiento aplicado a subestaciones de potencia” Juan Bravo y Carlos Águila - 2016 y “Mantenimiento de sistemas de transmisión eléctrica” Alberto Muñante, realizadas por empresas líderes en el mantenimiento eléctrico en el Perú, como son Omega Perú y Red de Energía del Perú.

2.2. Bases teóricas

Termodinámica

(Fuenzalida 2020) hace mención que la termodinámica es una disciplina de la física pura, mediante la cual se realizan estudio del calor y sus diversas formas de propagación como energía a fin de generar un ciclo de trabajo.

Principios de la termodinámica

En el libro (Cengel y Boles 2015) muestra que la termodinámica posee 3 principios fundamentales llamados:

- Principio cero de la termodinámica: postula que, si existen dos cuerpos (R y S) los cuales se encuentran en estado de equilibrio térmico con un tercer cuerpo (T), se anuncia que el R y S también se encuentran en equilibrio térmico mutuamente.
- Primer principio de la termodinámica: anuncia que la energía en sus diversas formas existentes en nuestro medio, no se genera o crea, tampoco se elimina, sino que solo se transforma.
- Segundo principio de la termodinámica: sostiene que para alcanzar el equilibrio térmico entre dos cuerpos, ellos tienden a igual su temperatura a un punto denominado de equilibrio.

Conservación de energía

La primera ley es la de mayor uso práctico de todas las leyes de conservación física, su aplicación en la termografía infrarroja sería la siguiente:

Ecuación 1. Conservación de energía en termografía

$$T_{IR} = E_A + E_R + E_T$$

Donde:

T_{IR}: Termografía IR

E_A: Energía absorbe (emite)

E_R: Energía reflejo

E_T: Energía que transmite (logra pasar un objeto)

Calor

(Alomá Chávez y Malaver 2007) definen al calor como la energía térmica transitorio que existe entre dos cuerpos de diferentes temperaturas, posee como unidad principal al Joule representado por la letra J. El Joule también es igual a 1 watt por segundo, por lo que, eléctricamente hablando, es el trabajo realizado por una diferencia de potencial de 1 volt y con una intensidad de 1 Ampere durante 1 tiempo de 1 segundo.

Temperatura

La temperatura es la medida cuantificable de la energía cinética que presenta un cuerpo por medio de la vibración molecular. También representa la cantidad de energía por molécula, o el promedio de una cantidad de moléculas, por esto, la temperatura es una medida del estado en que se encuentra una sustancia.

Instrumentos para medir la temperatura

La temperatura es la medida de lo relativamente frío o caliente, que se puede realizar a través de diversos instrumentos de medición, la calidad de la medición va a depender de la precisión de los mismos, a continuación, se mencionan formas de determinar el cambio de la temperatura.

- Expansión / contracción.
- Cambio de estado.
- Voltaje / resistencia.
- Cambio químico.
- Cambio de tono (sonido).
- Respuesta biológica.

- Radiación electromagnética.
- Cámaras termográficas

Radiometría

En el portal Web de (Optris [s.f.]) se mencionan a los radiómetros como instrumentos que miden la radiación electromagnética infrarroja, para luego interpretarlos en función de la temperatura, este es el funcionamiento de las cámaras termográficas. Se ha demostrado que la relación entre medición y medida es directamente proporcional.

Teoría básica de la transferencia del calor

Al observar un cuerpo se aprecia su superficie exterior, mientras que en el interior se origina la energía calorífica de interés. ¿Cuál es la relación entre el interior y el exterior? La energía calorífica puede ser convertida en una forma eléctrica con un elemento que mueve un flujo de electrones: corriente eléctrica, teniendo como unidad el watt – hora (W.h). A mayor temperatura, aumenta la potencia.

Formas de transferencia de calor

En (Barrera-Ríos et al. 2021) muestra los principales mecanismos de transferencia de calor:

- Radiación: ondas electromagnéticas que viajan alrededor del sol.
- Conducción: Acción y efecto de conducir, llevar, transportar, guiar, dirigir.
- Convección: transferencia de calor, debe haber un líquido

Conducción

Jean Baptiste Fourier fue un matemático y físico, destacado los aportes sobre la resolución de la ecuación del calor. El flujo de calor q (W o J/s) es la transferencia de calor por rango por conducción a través del material y es proporcional a las siguientes cuatro cantidades:

Ecuación 2. Fórmula de de transferencia de calor

$$q = k.A.\frac{(T_1 - T_2)}{d}$$

- k: conductividad térmica del material (W/mK o J/smK) – Valor tablas.
- A: área de la superficie del material (m²).
- T₁ – T₂: diferencia de temperaturas entre superficies (K o C°).
- d: espesor del material (m).

Los conductores de calor tienen una alta conductividad térmica, mientras que los aisladores térmicos poseen una baja conductividad térmica.

Una tubería o conductor aislado tiene una mayor relación de transferencia de calor longitudinalmente y una menor relación del centro a su superficie que un no aislado. La cantidad de calor transferido se incrementa cuando el grosor disminuye.

Con infrarrojo solo podemos ver la superficie del material que se está examinando, es decir, se observa la primera milésima de pulgada del objeto, no a través del mismo. Diferentes materiales conducen calor de diferente forma, por ejemplo, el cobre es más conductivo que el concreto.

Tabla 1. Valores de conductividad

Material	Conductividad W/mK
Cobre	380
Aluminio	237
Acero	50
Hormigón	2.5
Vidrio	0.6 – 1
Cerámica	0.80
Madera	0.13
XPS	0.035 – 0.045
Lana de roca	0.035 – 0.039

EPS	0.032 – 0.035
PUR/PIR/PU	0.021 – 0.035

Fuente: (Hermindo Prieto 2014)

De la Tabla 1, se deduce que diferentes materiales conducen calor de diferente forma, por ejemplo, el cobre es más conductivo que el concreto.

Diferencia de temperatura

A medida que la variación de temperatura (ΔT) aumenta o disminuye, ocurrirá lo mismo con la transferencia de calor.

La Ley de enfriamiento de Newton sanciona que la variación de valores de temperatura y su medio, tiende a cero; el calor en la unidad de medida de tiempo entrante o saliente del cuerpo establece una dependencia proporcional a la variación de temperatura. De (Ferrándiz, Arrieta y Martínez 2013), se hace mención la ecuación 1:

Ecuación 3. Ley de enfriamiento de Newton

$$Q = h(T_s - T_\infty)A$$

Donde:

- Q: flujo de calor (W)
- h: coeficiente de convección (W/m^2K) (dependerá de un fluido)
- A: área del cuerpo en contacto con el fluido (m^2)
- T_s : temperatura de la superficie del cuerpo (K)
- T_∞ : temperatura del fluido a cierta distancia del cuerpo (K)

Convección

La variación de temperatura interna de un material en estado líquido o gaseoso genera movimiento interno en las moléculas del fluido, el proceso del movimiento y su transferencia de calor de un fluido a otro se denomina convección

La cuantificación del coeficiente de convección (h), depende de parámetros del fluido (Alberto Supo-Quispe, Aruhuanca-Cartagena y Beatriz Butrón-Pinazo III 2021):

- Velocidad del flujo
- Orientación del flujo
- Condición de la superficie
- Geometría
- Viscosidad

Para superficies verticales en contacto con el aire, según menciona (Martínez 1992) , “h” está determinado por:

Ecuación 4. Fórmula de coeficiente de convección

$$h = 1,77(\Delta T)^{1/4}$$

Existen dos tipos de convección:

- Libre o natural: cuando el flujo es inducido por las fuerzas de flotabilidad, las cuales surgen de las diferencias en la densidad.
- Forzada: cuando el flujo es obligado a moverse por un medio externo.

A mayor velocidad del viento, mayor es la relación de pérdida de calor debido a la convección, por lo que la temperatura leída por un termómetro será parcialmente baja.

Grandes tanques llenos con fluidos de gran masa térmica, pierden más calor total debido a la convección que a las pequeñas conexiones eléctricas.

A medida que los líquidos se evaporan extraen calor de los alrededores, superficies húmedas serán típicamente más frías, lo que hará que los patrones térmicos sean más difíciles de entender.

Transigente de calentamiento y contraste

Las condiciones ambientales pueden ayudar a producir un contraste térmico.

La masa térmica y la conductividad afectarán la cantidad de carga de calor y de enfriamiento.

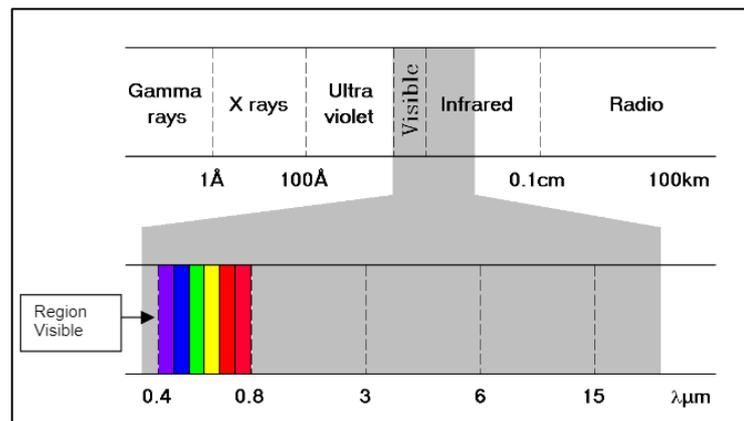
La cámara de onda corta puede ver por dentro de las flamas y gases muy densos, mientras que las de onda larga ven en las flamas una barrera, siendo la primera más cara que la segunda.

Radiación

La radiación es la emisión continua de energía desde la superficie de todos los cuerpos, se encuentra en forma de ondas electromagnéticas que se propagan a través de la luz y el vacío, a diferencia de la conducción y la convección, que requieren de la presencia de la materia. Es la transferencia de calor que realiza el sol aquí en la tierra.

El espectro infrarrojo IR

Figura 2. Región IR del Espectro Electromagnético (EEM)



Fuente: (Land Instruments International 2004)

El infrarrojo es una forma de energía con ondas de alta frecuencia del espectro electromagnético ubicado entre la luz visible y las ondas de radio, después del color rojo.

Los termogramas fueron obtenidos por primera vez en 1840, como resultado de la investigación iniciada por el astrónomo alemán inglés William Herschel (1738 – 1822), investigador que, durante el año 1800, dio hallazgo al espectro infrarrojo, un tipo de radiación no perceptible al ojo humano por su ubicación en el espectro de menor energía que la luz roja, mediante su efecto en un termómetro. La denominación de ultrarrojo, indica que la frecuencia está situada más allá del rojo en el rango del EEM. El nombre de infrarrojo hace referencia a la frecuencia de la luz en ese valor, es tanto menor cuanto más se avanza a lo largo de la totalidad del espectro de la luz visible desde el extremo violeta del rojo).

A mediados de 1800, el investigador escocés James Maxwell reconoció que tanto la radiación infrarroja como la luz visible eran de naturaleza ondular dentro del espectro electromagnético.

En la actualidad se conoce que hay ondas electromagnéticas de variadas frecuencias y longitudes de onda que se desplazan a la velocidad de la luz, incluyendo el infrarrojo. La diferencia entre la luz visible y el infrarrojo es la longitud de onda, siendo el IR más largo.

La radiación infrarroja

La radiación infrarroja no es tangible al sentido de la vista, pero su existencia es demostrable mediante su detección por sensores de temperatura en forma de radiación térmica en las superficies de análisis, la cual puede ser medida fácilmente por medio de un radiómetro, específicamente cuando la temperatura de un cuerpo es diferente a la de su entorno. (Luis Suárez Castañeda et al. 2012)

Figura 3. Medida de temperatura corporal de especies, un ejemplo de como la radiación se vuelve visible



Fuente: (Mártil 2016)

La radiación infrarroja empieza a longitudes de onda más largas que la de la luz roja visible, de $0,8 \mu\text{m}$ a $1000 \mu\text{m}$ ($0,1 \text{ cm}$), rango en el que se encuentran el short wave ($2\text{-}5 \mu\text{m}$) y el long wave (8 y $12 \mu\text{m}$), las dos regiones de interés para la termografía debido a que el aire presenta en ellas la más alta transmisión de la radiación en el infrarrojo. (Donohoe et al. 2014)

Propiedades de la energía infrarroja

- Es emitida por todos los objetos por encima del cero absoluto en el valor de ($-276,12 \text{ }^\circ\text{C}$, 0 K).
- Generada por la aceleración de partículas cargadas eléctricamente.
- Conforme un objeto se calienta, su actividad molecular se incrementa.
- Irradia más energía.

Cuerpo negro

Un objeto que emite el máximo posible de energía radiada para su temperatura, se conoce como cuerpo negro, el cual en la práctica ninguno se comporta de esa manera, por lo que se llamará un emisor ideal.

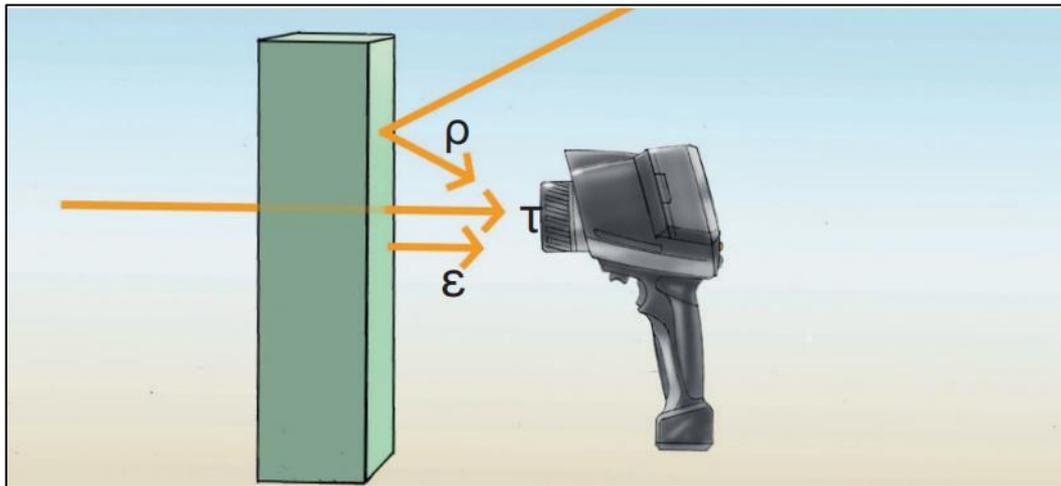
En base a este emisor ideal, se considerarán todos los efectos físicos y parámetros técnicos que puedan modificarlo.

El cuerpo negro absorbe totalmente cualquier radiación electromagnética de cualquier longitud de onda y emite una "radiación negra", la cual está completamente en acuerdo con la Ley de Radiación de Planck.

Este cuerpo ideal tiene las siguientes características:

- Emitancia = 1
- Reflectancia = 0
- Transmitancia = 0

Figura 4. Emisividad, reflexión y transmisión de cuerpo negro



Fuente: (Knospe 2017)

Ley de Kirchoff

Durante la segunda mitad del siglo XIX, la experiencia había mostrado que los objetos parecen absorber más o menos calor dependiendo de qué tan oscura o clara pareciera ser la coloración de la superficie.

En 1862, el destacado físico alemán Gustav Kirchoff, estableció que un buen absorbente térmico es un buen radiador y que el cuerpo negro proporciona un estándar de comparación para las fuentes de radiación.

La suma de la radiación saliendo de un objeto es igual a 1.

Ley de Wien

Según (Das 2002), la ley de la física que especifica que hay una relación inversa entre la longitud de onda en la que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro y su temperatura.

Cuanto mayor sea la temperatura de un cuerpo negro, menor es la longitud de onda en la cual emite y, por lo tanto, tiende al área del espectro de luz visible.

Los objetos con mayor medida de temperatura emiten gran parte de su radiación en forma de longitudes de onda más cortas y por lo tanto parecerán más azules, mientras que los de menor temperatura lo hacen a través de ondas más largas y parecerán más rojos.

Ecuación 5. Longitud de onda del pico de emisión

$$\Lambda \text{ max} = 2897,6 \mu\text{m} / T$$

$\Lambda \text{ max}$: longitud de onda del pico de emisión

T: Temperatura del cuerpo negro (K)

Ley de Stefan - Boltzmann

En 1884, Stefan y Boltzmann, ambos físicos concluyeron en su análisis cuantitativo teórico, que la cantidad total de energía radiada por un cuerpo negro es proporcional a su temperatura absoluta elevado a la cuarta potencia.

Ecuación 6. Ley de Stefan Boltzmann

$$E = \epsilon\sigma T^4$$

- E: energía emitida. T: temperatura.
- ϵ : emitancia.
- σ : Constante de Stefan – Boltzmann $5,6704 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

Esto significa que la radiación emitida aumenta con la temperatura y depende directamente de la emisividad y la temperatura absoluta.

Ley de radiación de Planck

(Alemany, Blanco y Torregrosa 2013) explicaron que la ley de radiación de Planck describe cuantitativamente la distribución espectral de la radiación térmica de un cuerpo negro a una temperatura definida.

Según la teoría de Planck, la energía es igual:

Ecuación 7. Ley de Planck

$$E = h \times v$$

- h: $6,626 \times 10^{-27}$ erg/s (constante de Planck)
- v: frecuencia erg/s = 10^{-7} watts

Durante una inspección infrarroja, la mayoría de los objetos se encuentran a temperatura ambiente.

- La radiación emitida varía continuamente con la longitud de onda.
- A menor longitud de onda, la magnitud de la radiación emitida incrementa con el aumento de la temperatura.
- La región espectral en la que la radiación se concentra, depende de la temperatura, considerando entonces que aparece más radiación en longitudes de onda cortas con aumentos de temperatura.

Termografía infrarroja

(Jaramillo et al. 2019) en su artículo científico definen a la termografía infrarroja (TI) como un método no destructivo utilizado para la inspección de elementos sin necesidad de interactuar de forma directa con ellos.

El mantenimiento

El objetivo del mantenimiento es brindar una alta confiabilidad y disponibilidad funcional de los equipos, resguardando la seguridad y salud de las personas, con responsabilidad social y cuidado del medio ambiente, optimizando los costos de mantenimiento, bajo un modelo de gestión basado en la mejora continua, para brindar un buen servicio de transmisión.

Existen 3 técnicas de mantenimiento utilizadas en las subestaciones de alta tensión en el Perú:

- Preventivo: es todo aquel que se realiza sobre un ítem que se encuentran en condiciones normales de operación, con el objetivo de reducir la probabilidad de falla o degradación de funcionamiento pudiéndose prevenir y programar.
- Predictivo: es todo aquel que permite garantizar una calidad de servicio deseada, de un ítem sobre la base de la aplicación sistemática de técnicas de análisis, utilizándose medios de supervisión o de muestreo, para reducir al mínimo el mantenimiento preventivo y disminuir el mantenimiento correctivo.
- Correctivo: es el mantenimiento efectuado luego de ocurrida una avería y destinado a volver a colocar un ítem en condiciones de ejecutar una función requerida.

Las tecnologías predictivas más usadas son:

- Análisis de vibraciones
- Análisis de soluciones aceitosas
- Espectro de corriente
- Ondas de ultrasonido
- Termografía infrarroja

Concepto de Termografía infrarroja

La termografía infrarroja es un método que hace posible la visualización de la radiación emitida de un cuerpo, transformándola en una señal eléctrica cuantitativa, lo cual permite localizar la parte calentada anormalmente de un equipo o una instalación productiva, y medir ópticamente la temperatura del punto caliente sin perturbar el estado del objeto.

Recordar según Kirchhoff, que lo emitido más lo transmitido más lo reflejado debe ser 1, sabiendo que en el mundo real $T = 0$, por lo tanto:

Ecuación 8. Ley de Kirchoff de termografía infrarroja

$$E + R = 1$$

Radiosidad

Las cámaras termográficas infrarrojas captan la radiación total, mas no las diferencia como tal: emitida, transmitida, reflejada, atmósfera y absorbida.

El infrarrojo no pasa a través de la contaminación.

Transmitancia

La transmitancia infrarroja de un material es el porcentaje de radiación infrarroja que es transmitida a través de él.

Transmisores:

- Germanio (Ge)
- NaCl (Sal)
- Diamante
- Vacío
- Aire
- Irtran (ZnS)
- Irtran 1 (MgF₂)
- Plásticos delgados
- Silicio (Si)
- Vidrio de trisulfato de arsénico (As₂S₃)
- Zafiro (Al₂O₃)

Medias por transmitancia:

- Cerca: 0,92.
- Lejos: 0,94.

Debido a la influencia de la emisividad y de las variaciones de fondo, las lecturas de temperatura sin corrección de un radiómetro infrarrojo son conocidas como temperaturas aparentes.

Emisividad

Es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a una diferencia de temperatura determinada, y que toma valores entre 0 y 1.

- Cuerpo negro: 1 (ideal)
- Reflector perfecto: 0
- Cuerpo real < 1

La emitancia o absorción, es una medida de la eficiencia con la cual un objeto o superficie emite radiación infrarroja. También es la razón entre la energía emitida por un cuerpo y la que emitiría un cuerpo negro a la misma temperatura.

En las superficies no brillantes existirá una alta emisividad, siendo la medición de la temperatura confiable. Estos son algunos de los materiales de ese tipo:

- Plantas, animales, seres humanos
- Cinta eléctrica negra
- Asfalto
- Agua
- Suelo
- Pinturas no metálicas
- Hule

En las superficies de baja emisividad, existirá alta reflexión térmica, deberá tenerse en cuenta el fondo y será difícil medir las temperaturas radiométricas con precisión por debajo de 0,6.

Cuando se tenga objetos de baja emisividad, deberá cubrirse el objeto con material de alta emitancia, como pintura, tape o aquadag. También ayudará a subir la emisividad lijar la superficie.

La emisividad puede cambiar por material, superficie, longitud de onda y temperatura, mientras que la emitancia puede cambiar con el ángulo de visión, por lo que la mejor forma de tomar los registros termográficos, se debe trabajar tan cerca de la perpendicular como sea posible.

Las reflexiones influyen significativamente cuando el operador se mueve, por lo que depende también del ángulo de visión.

Materiales reflectivos:

- Reflectores especulares: vidrio, cerámica vidriosa, metales pulidos y limpios, plásticos con superficies lisas.
- Reflectores difusos: madera y yeso.

Tabla 2. Tabla de emisividad de algunos materiales

Material (temperatura del material)	Emisividad	Material (temperatura del material)	Emisividad
Aluminio, bobinado (170 °C)	0.04	Caucho, duro (23 °C)	0.94
Aluminio, no oxidado (25 °C)	0.02	Caucho, blando, gris (23 °C)	0.89
Aluminio, no oxidado (100 °C)	0.03	Hierro fundido, oxidado (200 °C)	0.64
Aluminio, muy oxidado (93 °C)	0.20	Madera (70 °C)	0.94
Aluminio, muy pulido (100 °C)	0.09	Corcho (20 °C)	0.70
Algodón (20 °C)	0.77	Radiador, negro, anodizado (50 °C)	0.98
Hormigón (25 °C)	0.93	Cobre, deslustrado (20 °C)	0.04
Plomo, rugoso (40 °C)	0.43	Cobre, oxidado (130 °C)	0.76
Plomo, oxidado (40 °C)	0.43	Cobre, pulido (40 °C)	0.03
Plomo, gris, oxidado (40 °C)	0.28	Cobre, enrollado (40 °C)	0.64
Cromo (40 °C)	0.08	Plásticos: PE, PP, PVC (20 °C)	0.94
Cromo, pulido (150 °C)	0.06	Pintura, azul en lámina de aluminio (40 °C)	0.78
Hielo, liso (0 °C)	0.97	Pintura, negra, mate (80 °C)	0.97
Hierro, esmerilado (20 °C)	0.24	Pintura, amarilla, 2 capas en lámina de aluminio (40 °C)	0.79
Hierro, decapado (100 °C)	0.80	Pintura, blanca (90 °C)	0.95
Hierro, laminado (20 °C)	0.77	Mármol, blanco (40 °C)	0.95
Yeso (20 °C)	0.90	Ladrillo (40 °C)	0.93
Cristal (90 °C)	0.94	Latón, oxidado (200 °C)	0.61
Granito (20 °C)	0.45	Pinturas al óleo (cualquier color) (90 °C)	0.92 a 0.96
		Papel (20 °C)	0.97
		Porcelana (20 °C)	0.92
		Arenisca (40 °C)	0.67
		Acero, galvanizado (200 °C)	0.52
		Acero, oxidado (200 °C)	0.79
		Acero, estirado en frío (93 °C)	0.75 a 0.85
		Arcilla, cocida (70 °C)	0.91
		Pintura de transformador (70 °C)	0.94
		Ladrillo, mortero, cal (20 °C)	0.93
		Zinc, oxidado	0.1

Fuente: (Knospe 2017)

2.3. Marco conceptual

Termografía

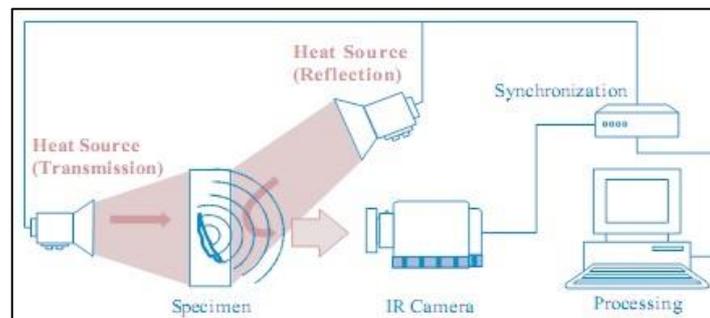
La técnica de termografía posibilita la captación de ondas IR por medio del uso de equipo fotográfico térmico. Por medio de los equipos es posible convertir la irradiación del cuerpo de forma visible al ojo humano, la generación tangible al sentido de la vista se representa por medio de imagen de la cantidad de calor en la superficie del cuerpo en estudio

Tipos de termografía

Termografía activa y pasiva

En la etapa de inspección térmica, los objetos estudiados pueden ser de dos clases: activos o pasivos. Se definen, los cuerpos que de forma innata generan calor sin intervención externa, de forma contraria, aquellos que, ante una reacción de suministro o sumidero, establecen flujo de calor.

Figura 5. Sistema termográfico para ensayos de termografía activa



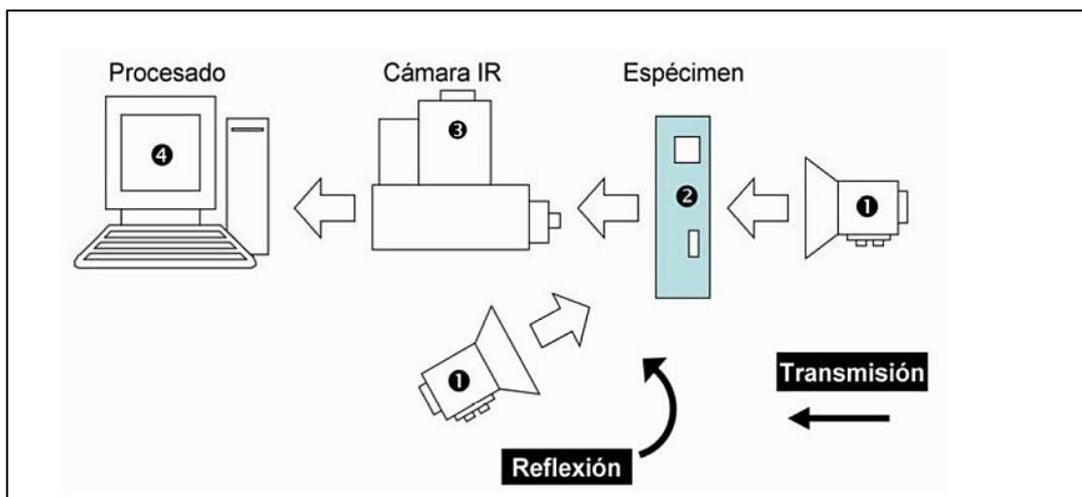
Fuente: (Empresa AVIO [s. f.]

En la evaluación de tales especímenes, la sincronización y control temporal de la inspección son críticos pues podría alcanzarse el equilibrio térmico sin que las anomalías lleguen a mostrarse. Igualmente hay que tener la precaución de evitar producir daños por estrés térmico en las piezas durante la excitación externa. En virtud de lo anterior, la termografía infrarroja (TI) puede ser activa o

pasiva. La última recoge aquellos casos en los que no se usa ninguna estimulación de calentamiento o enfriamiento externo para provocar un flujo de calor en el cuerpo inspeccionado. Sin embargo, la TI activa utiliza estímulos externos para inducir un contraste térmico relevante en el objeto bajo inspección. En la termografía pasiva, los materiales y estructuras bajo inspección se encuentran a temperaturas diferentes a la del ambiente, mostrando un patrón de temperaturas típico por el hecho de estar involucrados en procesos que producen calor. Una diferencia respecto a la temperatura normal de trabajo (referencia) del objeto sugiere un comportamiento anormal del mismo. Ello es debido al principio de conservación de la energía, la primera ley de la termodinámica, donde se recoge que cualquier proceso consume energía liberando calor según la ley de la entropía. La TI pasiva captura información de temperatura en tiempo real desde una distancia segura sin ninguna interacción con el objeto. La clave reside en la diferencia de temperatura con respecto al entorno, de lo que se pueden obtener evidencias cualitativas del estado de un objeto (el análisis cuantitativo requiere de modelados térmicos de los objetos). Así, por ejemplo, se monitoriza edificaciones (localización de pérdidas de calor y humedades) o se emplea en mantenimiento preventivo, electrónica, medicina y veterinaria, elaboración de componentes y procesos industriales, detección de fuegos, fugas o detección de objetivos (militar). En la termografía activa, a través de la estimulación externa, se provoca un flujo de calor interno en el objeto bajo estudio, permitiendo evaluar especies a temperatura atmosférica. El termograma obtenido presenta un patrón térmico que posibilita una caracterización cuantitativa del interior del espécimen. Así pueden detectarse laminaciones o inclusiones (las cuales representan variaciones en la conducción interna de calor), corrosiones, fisuras, descolados de materiales o estimar propiedades térmicas de materiales, o estudiar daños por impactos, entre otras aplicaciones. Por su importancia en END, en la Figura 1.20 se ilustra el proceso de adquisición de imágenes por TI activa mediante un ejemplo de inspección de defectos internos en un objeto. Primero, se produce un contraste térmico en la superficie de la muestra bajo inspección. En general, este contraste se obtiene tras el envío de un frente de calor si bien la utilización de un frente frío es igualmente válida.

Esto puede lograrse sea en régimen transitorio (con un impulso de energía) o en régimen permanente (con el envío de ondas periódicas), dependiendo de la aplicación. De igual manera, la adquisición de imágenes puede realizarse en reflexión (del mismo lado) o en transmisión (lado contrario). En general, el modo reflexión es utilizado para defectos internos relativamente cercanos a la superficie, mientras que el modo transmisión lo es para defectos profundos siempre y cuando se tenga acceso a los dos lados de la pieza

Figura 6. Sistema de adquisición de imágenes por Termografía Infrarroja activa. La posición de la fuente de calor establece si la adquisición se produce en reflexión o en transmisión.



Fuente:(Guerrero Mena 2013)

La cámara termográfica

Se necesita enfocar bien para que se pueda medir con exactitud, todo sistema óptico tiene sus límites en su capacidad de resolución, especialmente cuando las cosas son pequeñas.

El siguiente es un breve recuento de la evolución de las cámaras de termografía infrarroja:(Serrano Malagón y Núñez Campo Aury Margarita 2011)

- 1958: Se desarrolla la primera cámara de IR con fines de la milicia en el país de Suecia
- 1965: Se crea el primer escáner portable de modelo 750 y carga de baterías para inspecciones industriales
- 1975: Se diseña el primer sistema IR compatible con televisión
- 1978: La empresa AGA diseña el nuevo modelo 780, el cual fue fabricado con un registro de señales analógicas
- 1980: Jenoptik diseña la primera cámara de sondeo IR con aditamento de detector simple para ser usado en el sector comercio
- 1993: primera cámara con Matriz de Plano Focal (FPA, focal plane array) de alta resolución por FLIR
- 1997: AGEMA desarrolla la Agema 570, la primera cámara de IR con detector FPA no refrigerada en el mercado
- 2000: creación de ThermaCAM PM 695; la primera cámara de infrarrojos que produce tanto una imagen térmica como visual. Por FLIR
- 2002: Indigo Systems introduce la cámara infrarroja más pequeña del mercado: La Omega
- 2006: Flir Systems introduce en el mercado la ThermaCAM P640. La primera cámara infrarroja portátil en el mundo que incorpora un detector de matriz de plano focal de 640x480 píxeles y produce imágenes ultra nítidas. Introduce la serie ThermoVision SC6000, especialmente desarrollada para I&D
- 2007: VarioCAM® HiRes versión Research, primera cámara termográfica con capacidad de generación de imágenes térmicas infrarrojas de 1.2 Mega Pixeles. Por JENOPTIK

Factores que influyen en la medición

- Ambientales: entorno, viento, lluvias, efectos solares y temperatura de referencia (background)
- Mediciones directas vs indirectas
- Indirecta: se observa una superficie en frente del objeto de interés
- Distancia al objetivo / distancia

- Tamaño del objetivo
- Si el objetivo es más pequeño que el mínimo tamaño medible, el objetivo será promediado sobre un pixel detector, el objetivo podría no ser visto ni medida su temperatura en forma exacta
- Emisividad
- Enfoque.
- FORD: Enfoque, Rango de temperatura adecuado y buena distancia.

¿Cuándo se debe hacer una inspección y qué se debe inspeccionar?

- Determine la frecuencia basada en la experiencia y la coordinación.
- Haga una línea de fondo de inspección infrarroja sobre un equipo nuevo y reparado.
- Determine qué equipos son los críticos, esto lo puede hacer en base a la importancia de cada equipo, el proceso al cual pertenece, frecuencia de uso, entre otros.
- Puede determinar diferentes rutas vs diferentes frecuencias de inspección.

Información que debe contener un reporte termográfico

- Información relacionada con el equipo inspeccionado: localización, ubicación, nombre concreto del equipo.
- Datos sobre el momento de la toma: fecha, hora, nombre de archivo.
- Información correspondiente a las variables involucradas en la toma: emisividad, humedad, distancia, temperatura ambiental, carga de inspección y demás variables que permita el software.
- Imagen infrarroja, imagen visual, comentarios de voz.
- Parámetros de los objetos medidos.
- Descripción del equipo y sugerencia de acción clara y concisa, sin omitir datos importantes.
- Severidad del problema: desarrollo de directrices y establecimiento de prioridades para que el mantenimiento predictivo enfoque sus esfuerzos en aquellos puntos realmente críticos.

- Listado de normas e instituciones que han aportado estudios y directrices.

Conclusiones de los reportes termográficos

- Una práctica escrita explica detalladamente los procedimientos para todos los niveles de termógrafos.
- Los informes de revisión infrarroja son una parte importante en un programa bueno de mantenimiento predictivo.
- La generación de informe se hace más fácil con las nuevas cámaras infrarrojas.
- Las bases de datos realmente pueden ayudarle a mantener la pista de su infrarrojo y otros datos.

Parámetros de medición en equipos de patio

La clasificación de los puntos de conexión con calentamiento anormal observados en la inspección, se determina con base en el valor de temperatura evaluado en condiciones de mayor transferencia, al tipo de conexión y la ubicación del punto afectado.

Tabla 3. Sistema de valoración de Tº y acciones sugeridas

Diferencia de Temperatura	Relevancia	Acción Recomendada
Menor igual a 1°C	Normal	No es necesaria ninguna actuación hasta el próximo estudio predictivo.
1°C a 3°C	Leve	Realizar un seguimiento para ver la evolución del punto caliente.
3°C a 15°C	Grave	Actuar lo antes posible, se aprovechará e corte más inmediato para corregir el prob
Mayor a 15°C	Muy Crítica	Interrumpir el suministro eléctrico inmediatamente para corregir el problema.

Fuente: («ANSI/NETA MTS - 2007 - International Electrical Testing Association» 2007)

2.4. Definición de términos básicos

- **Mantenimiento predictivo:** es un proceso operativo que permite la mejora de la calidad de los servicios que se pretenden ofertar por medio de técnicas de monitoreo para reducir operaciones innecesarias que

puedan incurrir en mala gestión de tiempos, gastos que signifiquen pérdidas.

es todo aquel que permite garantizar una calidad de servicio deseada, de un ítem sobre la base de la aplicación sistemática de técnicas de análisis, utilizándose medios de supervisión o de muestreo, para reducir al mínimo el mantenimiento preventivo y disminuir el mantenimiento correctivo.

- **Infrarrojo:** forma de energía con ondas de alta frecuencia del espectro electromagnético ubicado entre la luz visible y las ondas de radio, después del color rojo.
- **Emisividad:** proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a una diferencia de temperatura determinada
- **Monitoreo:** actividad ejecutada manual o automáticamente, para observar el estado de un ítem.
- **Energía:** capacidad de realizar un trabajo, es decir, para hacer cualquier cosa que implique un cambio (un movimiento, una variación de temperatura, una transmisión de ondas, etc.).
- **Calor:** energía en tránsito que siempre fluye de una zona de mayor a menor temperatura.
- **Temperatura:** magnitud utilizada para medir la energía cinética de un sistema termodinámico.
- **Conducción:** Acción y efecto de conducir, llevar, transportar, guiar, dirigir.
- **Convección:** transferencia de calor, debe haber un líquido.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis (General y específicas)

Hipótesis general

- **Hipótesis alternativa (HI):** El uso de la tecnología infrarroja (IR) aplicada la termografía, ayudará a mejorar el mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión en Perú.
- **Hipótesis nula (HO):** El uso de la tecnología infrarroja (IR) aplicada la termografía, no ayudará a mejorar el mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión en Perú.

Hipótesis específicas

- **HE1:** El uso de la termografía infrarroja (IR) deberá tener en cuenta ciertos parámetros para una adecuada medida en los trabajos de campo.
- **HE2:** El uso de la termografía infrarroja ayudará a identificar los componentes eléctricos defectuosos en un patio de llaves de alta tensión.
- **HE3:** El plan de mantenimiento permitirá determinar el impacto del uso de tecnología infrarroja aplicada a las subestaciones AIS

3.1.1. Operacionalización de variables

Variable dependiente (VD):

Mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión

Variable independiente:

Uso de tecnología infrarroja (IR) aplicada en la termografía

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

Tipo mixta — campo (según Santiago Zorrilla — 1993 “Metodología de la investigación”).

Mixta: recopila información teórica y práctica.

Campo: debido a que se levanta información del terreno.

4.2. Método de investigación

Metodología experimental: su objetivo es conocer las causas de los fenómenos, los cómo y los porqués de los mismos, es decir, poder establecer relaciones de causa - efecto entre sus variables. Todas las ingenierías se han formado bajo este método.

Metodología observacional: describir fenómenos que ocurren en ambientes naturales o de laboratorio sin intervención del investigador. El investigador debe observar estos comportamientos y hacer los ajustes necesarios.

4.3. Población y muestra

Equipos de patio principales de alta tensión.

4.4. Lugar de estudio

Subestaciones AIS de alta tensión.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos que se utilizarán en la presente investigación serán la observación, la recopilación y la entrevista, siendo la recolección de datos por medio de la toma de muestras con un dispositivo.

4.5.1. Instrumentos para la recolección de la información

Recursos: los equipos utilizados fueron 01 cámara termográfica infrarroja, 01 termohigrómetro, 01 distanciómetro y una laptop.

Documentación aplicable: para el desarrollo de esta investigación se utilizó las normas ANSI/NETA MTS-2007, instructivo de mantenimiento de la empresa OMEGA PERÚ INT-M-108 “Inspección termográfica”, diagrama unifilar y plano de planta del patio de llaves de la subestación intervenida.

Software: FLIR Professional Tools.

Entrevista: especialistas en el sector de operación y mantenimiento fueron entrevistados sobre su experiencia con la termografía infrarroja en subestaciones de alta tensión.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

El análisis y procesamiento de datos que se presenta es a través de la interpretación de los parámetros que arroja el software de la cámara termográfica, con ayuda de las normas ANSI/NETA.

La información de las entrevistas se recogió por correo electrónico.

4.7. Aspectos éticos de la investigación

El presente proyecto se perfila como una investigación bajo todas las normativas que incurra cada etapa de su desarrollo.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

Se analizaron 02 tomas termográficas realizadas en dos equipos de potencia y se entrevistaron a 05 especialistas en el área de Operación y Mantenimiento de alta tensión, de las empresas Omega Perú y REP.

Análisis de termografía en subestaciones

Para el primer resultado de esta investigación, se analizaron 02 tomas termográficas realizadas a 02 equipos de patio en las subestaciones Chilca 500 kV (Lima) y Kiman Ayllu 220 kV (Ancash).

Los primeros pasos para realizar estas inspecciones fueron haber recibido una certificación de capacitación por parte de una empresa especialista en termografía, para saber manipular la cámara y no cometer errores que podrían perjudicar la toma de resultados.

Se tomó en cuenta ciertas condiciones en gabinete:

- El cronograma del Plan de Mantenimiento Anual de la empresa de OyM (PMA).
- Las comunicaciones respectivas entre el jefe de Mantenimiento, el operador de la subestación y el especialista termógrafo.
- El trabajo no debe realizarse en temporada de lluvias, la subestación debe estar en servicio y realizarse en una hora donde haya máxima demanda.
- Contar con los certificados de calibración de la cámara termográfica y del termohigrómetro, y la hoja de instrucciones del fabricante.
- Contar con el Instructivo de Inspección Termográfica.
- Contar con el plano de planta de la subestación.
- Definir un plan de ruta de tomas termográficas.

Se tomó en cuenta ciertas condiciones en campo:

- Contar con el permiso de trabajo del Centro de Control.

- Realizar el llenado del Análisis de Trabajo Seguro (ATS).
- Verificar que los materiales, equipos, EPP y herramientas estén completos en el punto de la actividad.
- Recibir la charla de seguridad de 5 min, o darla al personal de apoyo, si es que lo hubiera.
- Prender la cámara termográfica con el lente cubierto, enfocar bien el objeto, insertar la distancia, emisividad (0,85 según tabla 1), humedad y temperatura ambiente, medidas con el termohigrómetro y distanciómetro.
- Proceder con la inspección termográfica, teniendo en cuenta los accesorios metálicos de los equipos de patio, en la cual se establezcan comparaciones térmicas entre las fases “R”, “S” y “T”, referidos a la visualización y variación entre los componentes bajo condiciones similares de operación (terminales, grapas, uniones, bifilares, entorches, grillos, acometidas, contactos, conductores, entre otros).
- Descargar la información recabada en campo y subirla a la nube.
- Cerrar el permiso de trabajo.

Tabla 4. EPP requeridos para los trabajos de campo.

Símbolo	Descripción
	Guantes de badana, nitrilo o puntos de hilos.
	Zapatos de seguridad.
	Uniforme (camisa, pantalón o mameluco).
	Casco de seguridad con barbiquejo.
	Lentes de seguridad.

Fuente: Omega Perú

Ambas actividades fueron realizadas de noche con una cámara FLIR T420 N° de serie 62115474, y complementadas por dos equipos adicionales: un termohigrómetro FLUKE modelo 971 N° de serie 30770928, para la toma de temperatura ambiente y humedad; y un distanciómetro para medir la distancia a los equipos a medir.

Cámara FLIR

- Cámara de infrarrojos de alto rendimiento con cámara visual
- Pantalla táctil
- Conectividad Wi-Fi
- Lentes intercambiables
- Mejora de imagen con MSX®
- Orientación automática

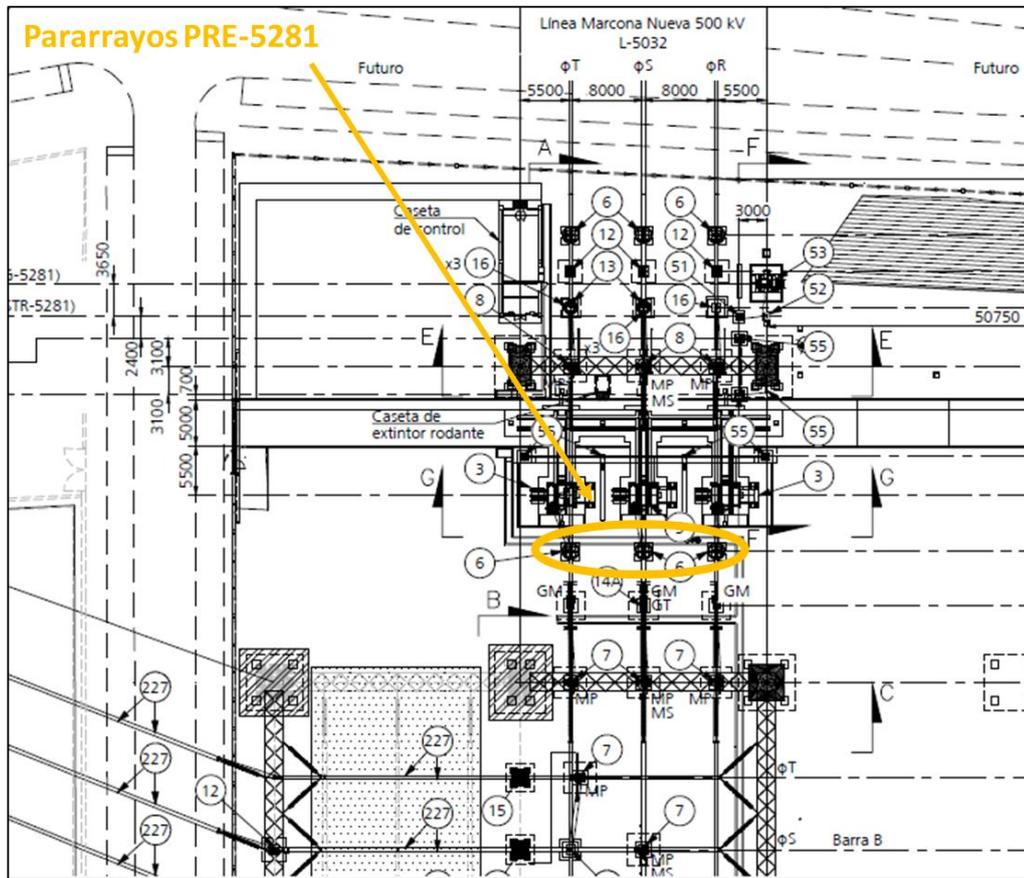
Para el análisis, se utilizó la tabla del sistema de valoración de temperatura recomendada por la norma ANSI/NETA MTS-2007 (ver Tabla 3).

Las especificaciones de temperatura varían según el tipo exacto de equipo. Incluso en la misma clase de equipo (es decir, cables) hay varias clasificaciones de temperatura. La calefacción generalmente está relacionada con el cuadrado de la corriente; por lo tanto, la corriente de carga tendrá un gran impacto en DT. A falta de consenso estándares para DT, los valores en esta tabla proporcionarán pautas razonables.

Según, (Velásquez Fabricio Ismael Sánchez Gavilanes Edwin Paúl y González 2018). La clasificación de los nodos conectivos que presentan comportamiento anormal observados durante el monitoreo, se realiza el cálculo mediante el valor de temperatura medido en condiciones de máxima transferencia, la clase de conexión y la zona hallada de punto observado

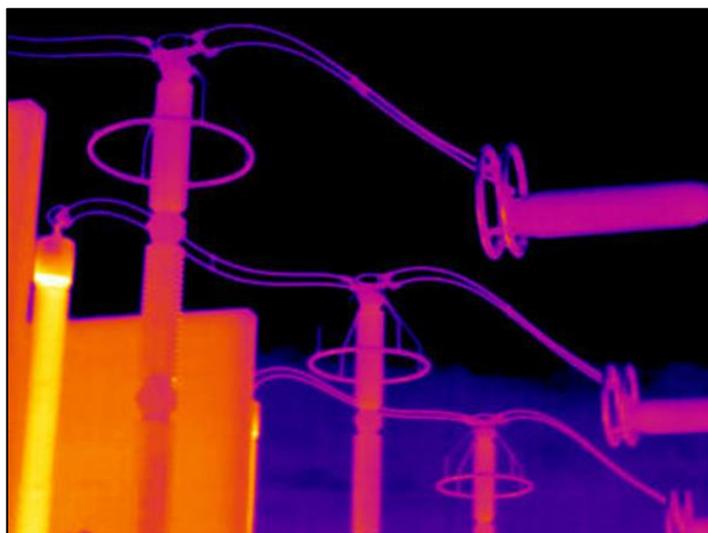
Termografía en pararrayos de reactor PRE-5281 – SE Chilca 500 kV

Figura 7. Plano de Disposición de Equipos de Planta de subestación Chilca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Vista preliminar de termograma.



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Termograma llevado al software.

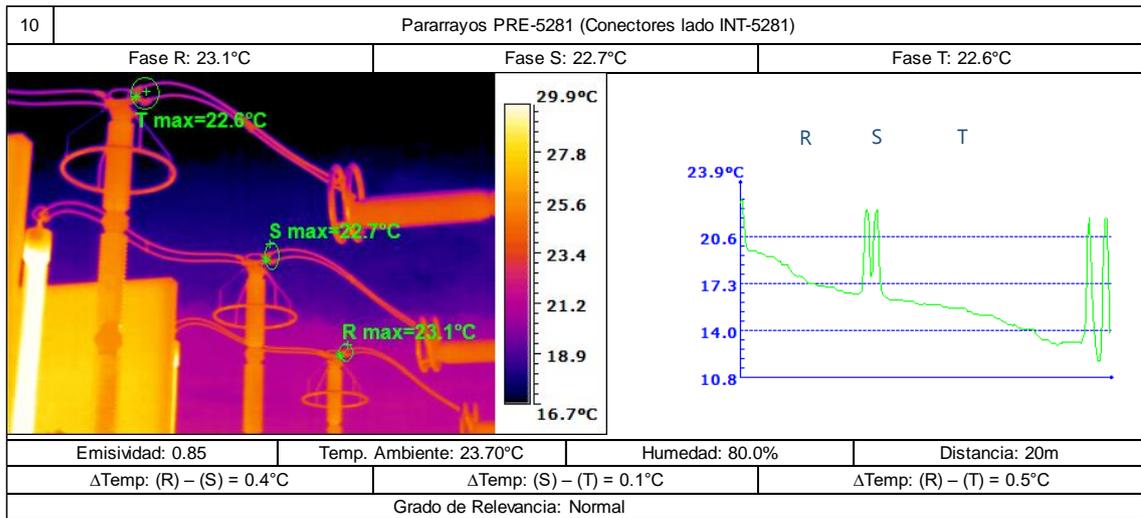


Fuente: OMEGA PERÚ Operación y mantenimiento.

En el termograma se aprecia que:

- Los conectores entre el pararrayos y el interruptor, tienen las temperaturas de las fases “R”, “S” y “T” de 23,1 °C, 22,7 °C y 22,6 °C.
- La gama de colores representa un rango de temperaturas entre 16,7 °C y 29,9 °C.

Figura 10. Termograma llevado a la hoja de Excel del informe

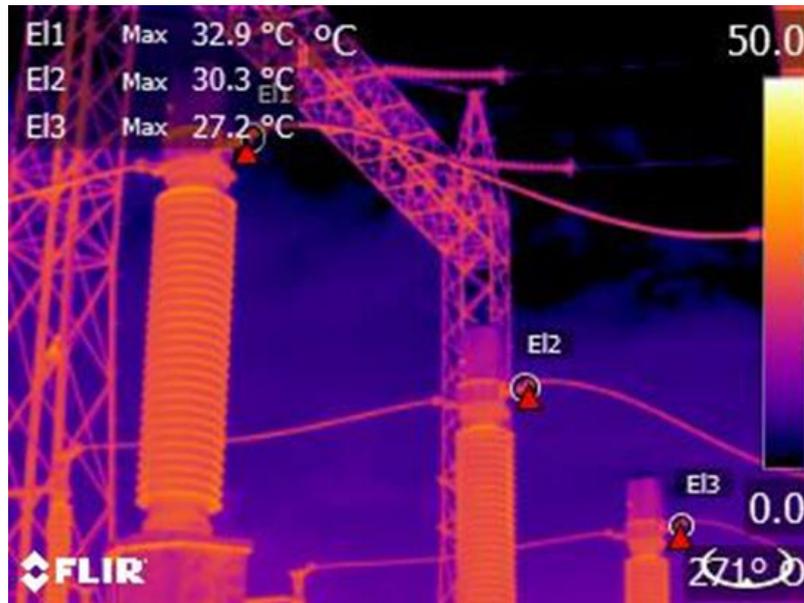


Fuente: OMEGA PERÚ Operación y mantenimiento.

En el informe del termograma se aprecia que:

- La emisividad por tablas se determinó en 0,85.
- La temperatura de ambiente medida por el termohigrómetro fue 23,7 °C.
- La humedad relativa medida por el termohigrómetro fue 42%.
- La distancia a la fase más lejana medida por el distanciómetro fue de 20 m.
- El delta de temperatura de las fases más alto es de 0,5 °C, que según la tabla ANSI/NETA MTS-2007, tiene un grado de relevancia normal.
- Se recomienda la próxima toma termográfica en un año.

Figura 13. Termograma llevado al software.



Fuente: OMEGA PERÚ Operación y mantenimiento.

En el termograma se aprecia que:

- Los conectores entre el pararrayos y el interruptor, tienen las temperaturas de las fases “R”, “S” y “T” de 32,9 °C, 30,3 °C y 27,2 °C.
- La gama de colores representa un rango de temperaturas entre 0 °C y 50 °C.

Figura 14. Termograma llevado a la hoja de Excel del informe

59	Transformador de corriente TCL-512 (conectores lado INT-512)		
Fase R: 32.9°C	Fase S: 30.3°C	Fase T: 27.2°C	
Emisividad: 0.85	Temp. Ambiente: 8.0°C	Humedad: 61.0%	Distancia: 15m
ΔTemp: (R) – (S) = 2.6°C	ΔTemp: (S) – (T) = 3.1°C	ΔTemp: (R) – (T) = 5.7°C	
Grado de Relevancia: Grave			

Fuente: OMEGA PERÚ Operación y mantenimiento.

En el informe del termograma se aprecia que:

- La emisividad por tablas se determinó en 0,85.
- La temperatura de ambiente medida por el termohigrómetro fue 8 °C.
- La humedad relativa medida por el termohigrómetro fue 61%.
- La distancia a la fase más lejana medida por el distanciómetro fue de 15 m.
- El delta de temperatura de las fases más alto es de 5,7 °C, que según la tabla ANSI/NETA MTS-2007, tiene un grado de relevancia grave.
- Actuar lo antes posible, se aprovechará corte inmediato para corregir el problema.

Entrevistas a los especialistas en Operación y Mantenimiento

Se entrevistó a un exgerente de Operación y Mantenimiento de Omega Perú, Daniel Vaillant; al jefe de mantenimiento de Omega Perú, Hervi Gutiérrez, un analista de mantenimiento de alta tensión de REP, Williams Chávez; un supervisor de pruebas de mantenimiento de alta tensión de Omega Perú, José Alanoca; y un ingeniero especialista en pruebas eléctricas en patios de alta tensión de T&D Electric, Víctor Céspedes, los cuales brindan y brindaron servicios a subestaciones de alta tensión importantes en el Perú, tales como Chilca 500 kV, Yarabamba 500 kV, Poroma 500 kV, Independencia 220 kV, Kiman Ayllu 220 kV, entre otras.

La finalidad de esta entrevista fue, en base a su experiencia en el sector eléctrico de alta tensión, reforzar la importancia de la termografía infrarroja en el mantenimiento predictivo de equipos de patio de subestaciones AIS.

DANIEL VAILLANT (SENIOR PARTNER CON AEDILES CAPITAL, PRESIDENTE DE CIGRE PERU, CONSULTOR DE INFRAESTRUCTURAS ELÉCTRICAS, INGENIERO EXGERENTE GENERAL DE OMEGA PERÚ OYM)

- **¿En qué medida el uso de la termografía mejora el mantenimiento en**

las subestaciones AIS de alta tensión en Perú?

“Porque detecta previamente un avanzado deterioro de los equipos y se utiliza a distancia con estos energizados.

Con el avance de la tecnología, ahora estas cámaras con más pequeñas, menos caras y con un nivel de precisión mucho más alto, lo que permite también tener un seguimiento del avance del fenómeno detectado”.

- **¿Qué plan de mantenimiento se debe realizar para determinar un buen diagnóstico termográfico en los equipos de patio de estas subestaciones?**

“Es una pregunta bien amplia, un plan de mantenimiento de subestaciones debe tener en cuenta todos los aspectos que puedan afectarla, desde la concepción hasta temas ambientales como la contaminación industrial, natural y por salinidad del mar; temperatura, terremotos, frecuencias de los temblores y las condiciones de operación. Operando con muchas maniobras, con o sin fallas, y eso desde la puesta en servicio para que se haga un seguimiento anual.

También se debe prever un sistema para el archivamiento y tratamiento de las informaciones, algo que ya existe en la industria: un sistema experto que puede recibir este tipo de información.

La termografía es muy importante en este plan de mantenimiento”.

- **En sus años de experiencia como gerente de mantenimiento, ¿Cuál ha sido la evolución de la termografía en el mantenimiento predictivo de estas subestaciones?**

“Actualmente la tecnología hace que el acceso a las informaciones tenga un avance significativo, hace 10 años, una cámara termográfica era un equipo muy caro, frágil y de manipulación complicada, tanto que la compra de una se veía como una inversión difícil de justificar.

Hoy día es una herramienta casi común, de fácil uso y más precisa.

Ya estamos empezando a tener cámaras que pueden dar informaciones numéricas, rellendo bases de datos, comunicándose globalmente con otras y que pueden ser transportadas con un dron.

Ahora el desafío a futuro no estará tanto en tener las informaciones, si no en estar en la capacidad de tratarlas y pasar de tener informaciones de data a informaciones para la toma de decisiones, las cuales serían analizadas directamente por un sistema experto que programaría el mantenimiento”.

HERVI GUTIÉRREZ VÉLIZ (JEFE DE MANTENIMIENTO DE OMEGA PERÚ)

- **¿Es importante la termografía en subestaciones AIS de alta tensión?**

“Afirmativo, ya que es parte del mantenimiento predictivo”.

- **¿En qué medida el uso de la termografía mejorara el mantenimiento en estas subestaciones?**

“La termografía nos ayuda a evidenciar futuras posibles fallas por puntos calientes y ahorrar costos en mantenimientos correctivos”.

- **¿Cuáles son la hora y condiciones de potencia nominal adecuadas a la que se debe tomar la termografía?**

Es importante realizar la termografía cuando se tenga la mayor potencia nominal de la instalación a medir, es indiferente la hora.

- **¿Qué debe tener en cuenta un operador para realizar un buen análisis de las tomas termográficas?**

“La distancia de la toma termográfica debe ser similar entre equipos a comparar, configurar el valor de la emisividad del material a medir,

debemos comparar equipos con las mismas características y condiciones ambientales”.

WILLIAM LÓPEZ CHÁVEZ (ANALISTA DE MANTENIMIENTO DE ALTA TENSIÓN REP)

- **¿Qué hay que hacer al prender la cámara termográfica?**

“La distancia de la toma termográfica debe ser similar entre equipos a comparar, configurar el valor de la emisividad del material a medir, debemos comparar equipos con las mismas características y condiciones ambientales., emisividad, humedad y temperatura. Para programar la distancia, emisividad y humedad se debe de ingresar a ajustes de cambios, después para insertar la distancia esta debe de tomarse con un equipo (distanciómetro) e insertar la distancia real al objetivo; al insertar la emisividad esta debe de ser de acuerdo con el material a medir; al insertar la humedad esta debe de medirse con un equipo (termohigrómetro) y colocar la humedad en la que se encuentra la zona donde se mide”. La distancia de la toma termográfica debe ser similar entre equipos a comparar, configurar el valor de la emisividad del material a medir, debemos comparar equipos con las mismas características y condiciones ambientales.

- **¿A qué distancia se debe hacer las tomas?**

“La distancia en la que se debe de realizar las tomas depende de factores como la resolución, el campo de visión instantáneo, las lentes, el tamaño del objeto, etc”.

- **¿Cuál es la hora a la que se debe tomar la termografía?**

“La hora en la que se debe tomar la termografía es en el rango de 18:00 a 20:00 horas donde la demanda es máxima en la hora punta”.

JOSÉ ALANOCA ARI (SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO DE ALTA TENSIÓN OMEGA PERÚ)

- **¿Es importante la termografía en subestaciones AIS de alta tensión?**

“Sí es importante, nos ayuda a identificar puntos calientes ya sea por mal torqueo (ajuste en los equipos de patio) de conectores, suciedad en el aislamiento o sobrecargas”.

- **¿Cómo se programan la distancia, la emisividad, humedad, antes de realizar una toma termográfica en equipos de patio?**

“La emisividad va a depender del material al cual se quiera medir la temperatura, en caso de equipos de patio, metal a la intemperie es de 0,85, la humedad se consigue con un termohigrómetro y la distancia depende de dónde estás tomando la foto, nosotros lo hacemos a 20 metros, ya que de esa distancia nos permite enfocar la totalidad del equipo”.

- **¿Cuáles son la hora y condiciones de potencia nominal adecuadas a la que se debe tomar la termografía?**

“Considerar cuando la hora es de máxima demanda o mayor carga del equipo a medir, evitar lluvia, nieve y humedad muy elevada, estos factores climáticos afectan la medición”.

- **¿Qué hay que tener en cuenta para realizar un buen análisis de las tomas termográficas?**

“El material al cual estás midiendo para colocar la emisividad adecuada, colocar la distancia donde tomas la foto, colocar la humedad y temperatura del medio, tomar las fotos cuando el equipo esté a mayor carga del día”.

VÍCTOR CÉSPEDES SANTILLÁN (INGENIERO ESPECIALISTA EN PRUEBAS DE ALTA TENSIÓN T&D ELECTRIC)

- **¿Qué hay que hacer al prender la cámara termográfica?**

“Asegurarnos que las baterías estén con la carga necesaria para trabajar sin inconvenientes, tomar medidas de los parámetros que requiere la cámara e iniciar con la configuración e identificar los puntos que se requieren para realizar la termografía y ubicar los mejores ángulos”.

- **¿Cómo se programan la distancia, la emisividad, humedad, antes de realizar una toma termográfica en equipos de patio?**

“La programación depende de cada equipo, para determinar la distancia se usa un distanciómetro que tomará medida al punto que se requiere realizar la termografía. El factor de emisividad para material de equipos de patio es 0,85. Para la humedad se hará uso de un termohigrómetro, el cual tomará registro en tiempo real por lo que se debe realizar la reconfiguración cada cierto intervalo de tiempo o para cada toma”.

- **¿A qué distancia se debe hacer las tomas?**

“La distancia es en referencia al mejor ángulo en que se pueda realizar la toma de la imagen termográfica, respetando las distancias mínimas de seguridad según el nivel de tensión de la subestación a intervenir.”.

- **¿Qué EPP son los adecuados para la toma termográfica?**

“Casco, guantes, lentes, barbiquejo, ropa antífama y zapatos dieléctricos”.

- **¿Cuál es la hora adecuada para tomar la termografía?**

“El mejor horario para realizar este tipo de pruebas es en el de mayor demanda, máxima carga, el cual pondrá a la instalación en su máxima temperatura, habitualmente de noche.”

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se obtuvo los resultados respecto a ambas variables, en el caso de la variable dependiente, mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión, se demostró que, a través de un correcto análisis de las muestras termográficas y amparados en lo que dicta la norma ANSI/NETA MTS-2007, se pudo determinar si el equipo presenta alguna falla que podría dañar el servicio de transmisión o algún equipo que dependa de él.

Con respecto a la variable independiente, uso de la tecnología infrarroja aplicada a la termografía, el resultado obtenido en ambas tomas termográficas (Chilca y Kiman Ayllu), pudo determinar el estado funcional de los equipos de potencia intervenidos, a través de un diagnóstico que servirá para determinar los nuevos pasos a seguir para que estos equipos no cesen en su operación y causen así pérdidas económicas y materiales para la empresa de operación y mantenimiento.

El resultado de las entrevistas a los expertos en mantenimiento de subestaciones de alta tensión, reveló que la termografía infrarroja utilizada en el mantenimiento de subestaciones AIS de alta tensión, es una herramienta de inspección altamente eficaz para determinar un diagnóstico adecuado de sus equipos de potencia.

Daniel Vaillant, Exgerente de la empresa Omega Perú OyM sostuvo que: “la cámara termográfica detecta el deterioro de los equipos de una subestación y cuenta con la ventaja de ser utilizados a distancia”.

También sostuvo que la tecnología ha hecho que la cámara termográfica sea más fácil de operar y precisa, y que un dron puede manobrarla para llegar a sitios antes inaccesibles: “Ya estamos empezando a tener cámaras que pueden dar informaciones numéricas, rellenando bases de datos, comunicándose globalmente con otras y que pueden ser transportadas con un dron”.

Finalizó sosteniendo que a futuro un sistema experto procesaría el programa de mantenimiento de las subestaciones, en donde el análisis termográfico podría ser responsabilidad no de un operario, si no de una máquina: “ Ahora el desafío a futuro no estará tanto en tener las informaciones, si no en estar en la capacidad de tratarlas y pasar de tener informaciones de data a informaciones para la toma de decisiones, las cuales serían analizadas directamente por un sistema experto que programaría el mantenimiento”.

Alberto Muñante, Exgerente de la empresa ISA REP sostuvo que:

Hervi Gutiérrez, Ingeniero de mantenimiento de Omega Perú sostuvo que:

Noemy Luna, Ingenieria de mantenimiento de Omega Perú sostuvo que:

Williams López, sostuvo que, para el inicio de una toma termográfica, los equipos que complementan a la cámara termográfica son el termohigrómetro y distanciómetro: “...después para insertar la distancia esta debe de tomarse con un equipo (distanciómetro) e insertar la distancia real al objetivo; al insertar la emisividad esta debe de ser de acuerdo con el material a medir; al insertar la humedad esta debe de medirse con un equipo (termohigrómetro) y colocar la humedad en la que se encuentra la zona donde se mide”.

Víctor Céspedes, Ingeniero de mantenimiento de T&D Electric, sostuvo que:

Con estas premisas, queda validada la hipótesis (Hi): “El uso de la tecnología infrarroja (IR) aplicada la termografía, ayudará a mejorar el mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión en Perú” y deja nula la hipótesis (Ho): “El uso de la tecnología infrarroja (IR) aplicada la termografía, NO ayudará a mejorar el mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión en Perú”.

VII. CONCLUSIONES

- La termografía infrarroja (IR) es una herramienta altamente eficaz para el operario de subestaciones eléctricas AIS de alta tensión, quien con un adecuado análisis de los termogramas obtenidos, puede detectar las fallas potenciales de sus equipos de patio más importantes, lo que evitará la interrupción del suministro ofreciendo así un mejor servicio y minimizando las pérdidas económicas.
- La implementación de un adecuado uso de la termografía infrarroja (IR) se soporta en procesos rigurosos y excelentes, seguros para las personas, en equilibrio con el ambiente y socialmente responsables.
- Las cámaras termográficas han tenido un avance significativo en los últimos 10 años: antes era un equipo muy caro, frágil y de manipulación complicada, tanto que la compra de una se veía como una inversión difícil de justificar, mientras que hoy en día es una herramienta casi común, de fácil uso y más precisa.
- Los especialistas encuestados concluyen, en base a su experiencia, que el uso de la tecnología infrarroja (IR) aplicada la termografía, ayuda a mejorar el mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión en Perú.

VIII. RECOMENDACIONES

- Para realizar un correcto informe de termografía de subestaciones AIS de alta tensión, se debe haber recibido una certificación por parte de una empresa especialista en termografía, conocer las condiciones ambientales y de operación de la subestación a inspeccionar, conocer y contar con la documentación previa y durante la visita a campo, conocer los riesgos de su labor, y realizar un buen análisis de los parámetros encontrados en campo.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTO SUPO-QUISPE, L.I., ARUHUANCA-CARTAGENA, J.I. y BEATRIZ BUTRÓN-PINAZO III, S., 2021. Determinación del coeficiente convectivo de transferencia de calor (H_c) en la evaluación del equipo de convección forzada. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol. 6, Nº. 3, 2021, págs. 374-389 [en línea], vol. 6, no. 3, pp. 374-389. [Consulta: 27 septiembre 2022]. ISSN 2550-682X. DOI 10.23857/pc.v6i3.2376. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926934&info=resumen&idioma=SPA>.
- ALEMANY, F.S., BLANCO, J.L.D. y TORREGROSA, J.M., 2013. La introducción del concepto de fotón en bachillerato. *Revista Brasileira de Ensino de Física* [en línea], vol. 35, no. 2, pp. 2404. [Consulta: 27 septiembre 2022]. ISSN 1806-1117. DOI 10.1590/S1806-11172013000200019. Disponible en: <http://www.scielo.br/j/rbef/a/4433bzX4jyR4cMDwKRPCWTf/?lang=es>.
- ALOMÁ CHÁVEZ, E. y MALAVER, M., 2007. Los conceptos de calor, trabajo, energía y teorema de Carnot en textos universitarios de termodinámica. *Educere*, vol. 11, no. 38, pp. 477-487. ISSN 1316-4910.
- ANSI/NETA MTS - 2007 - InterNational Electrical Testing Association. [en línea], 2007. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.netaworld.org/standards/ansi-neta-mts>.
- BANCES VIDAURRE, H.R., 2020. Mantenimiento predictivo mediante la técnica de termografía para optimizar el funcionamiento del sistema eléctrico Tierras Nuevas en empresa Coelvisac. *Repositorio Institucional - UCV* [en línea], [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45649>.
- BARRERA-RÍOS, F.J., RAMÍREZ-LEÓN, S.A., SÁNCHEZ-ÁNGELES, E., PÉREZ-TRUJILLO, J.A. y CRUZ-ÁLVAREZ, A., 2021. Mecanismos de

- transferencia de calor. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río* [en línea], vol. 8, no. 16, pp. 38-42. [Consulta: 27 septiembre 2022]. ISSN 2007-7629. DOI 10.29057/ESTR.V8I16.6401. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/article/view/6401>.
- CENGEL, Y.A. y BOLES, M.A., 2015. *Termodinámica*. 8º Edición. S.I.: Mc Graw Hill Education. ISBN 978-607-15-1281-9.
- DAS, B., 2002. Obtención de la ley de desplazamiento de Wien de la ley de radiación de Planck. *The Physics Teacher*, vol. 40, no. 3, pp. 148-149.
- DONOHOE, A., ARMOUR, K.C., PENDERGRASS, A.G. y BATTISTI, D.S., 2014. Shortwave and longwave radiative contributions to global warming under increasing CO₂. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* [en línea], vol. 111, no. 47, pp. 16700-16705. [Consulta: 27 septiembre 2022]. ISSN 10916490. DOI 10.1073/PNAS.1412190111/SUPPL_FILE/PNAS.201412190SI.PDF. Disponible en: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1412190111>.
- EMPRESA AVIO, [sin fecha]. Termografía activa | aplicaciones de la termografía. [en línea]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: https://www.camarastermograficas.es/termografia_activa.html.
- FARIAS PESUA, J.C., 2000. Mantenimiento Preventivo/Predictivo utilizando la Termografía Infrarroja en empresas de electricidad. *Universidad Nacional del Callao* [en línea], [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/275>.
- FERRÁNDIZ, S., ARRIETA, M.P. y MARTÍNEZ, J.L., 2013. Análisis del comportamiento de procesos térmicos en materiales plásticos. Uso de modelos matemáticos en prácticas de laboratorio de una ingeniería. *Modelling in Science Education and Learning* [en línea], vol. 6, pp. 43-53. [Consulta: 27 septiembre 2022]. ISSN 1988-3145. DOI

10.4995/MSEL.2013.1979. Disponible en:
<https://polipapers.upv.es/index.php/MSEL/article/view/1979>.

FUENZALIDA, V., 2020. Apuntes de termodinámica. [en línea]. Chile: Universidad de Chile, [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: http://www.das.uchile.cl/~simon/docencia/fi2004_2020b/ApuntesTermodinamica2020_VF.pdf.

GONZÁLEZ ARBESÚ, J.M., 2000. *Caracterización de antenas mediante termografías de infrarrojos* [en línea]. Tesis doctoral. Catalunya, España: Universitat Politècnica de Catalunya. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <http://www.tdx.cat/handle/10803/6923>.

GUERRERO MENA, C.N., 2013. Evaluación de la aplicabilidad de la técnica de la termografía infrarroja al reconocimiento del estado de elementos de hormigón. [en línea], [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/19610>.

HERMINDO PRIETO, J., 2014. Hablamos de Lambdas. Qué nos dicen la conductividad y la resistencia térmicas sobre un material aislante. *BMI* [en línea]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.bmigroup.com/es/blog/hablamos-de-lambdas-que-nos-dicen-la-conductividad-y-la-resistencia-termicas-sobre-un-material-aislante/>.

HERNÁNDEZ, L., ÓSCAR, C. y PÉREZ, D., 2020. Detection, classification and characterization of defects in photovoltaic modules through the use of thermography, electroluminescence, I-V curves and visual analysis. [en línea], [Consulta: 27 septiembre 2022]. DOI 10.35376/10324/42213. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/42213>.

JARAMILLO, A., DO VALLE, Â., LIBRELOTTO, L., JARAMILLO, A., DO VALLE, Â. y LIBRELOTTO, L., 2019. Infrared thermography (IRT) to detect internal defects caused by xylophagous insects in bamboo culms. *Revista ingeniería de construcción* [en línea], vol. 34, no. 3, pp. 278-287. [Consulta: 27

septiembre 2022]. ISSN 0718-5073. DOI 10.4067/S0718-50732019000300278. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732019000300278&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

KNOSPE, B., 2017. Termografía, guía de bolsillo - Teoría – Aplicación Práctica – Consejos y trucos. [en línea]. S.l.: [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://static-int.testo.com/media/15/80/cb083169e06b/Guia-ES-testo-termografia-general-BS.pdf>.

LAND INSTRUMENTS INTERNATIONAL, 2004. Guía básica a la termografía. *Medida de temperatura infrarroja* [en línea]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/6489029-Guia-basica-a-la-termografia.html>.

LUIS SUÁREZ CASTAÑEDA, J., ADOLFO, A., ARRIETA, A., JAVIER, F. y SIERRA, C., 2012. La radiación infrarroja como mecanismo de transferencia de calor de alta calidad en procesos de calentamiento. *Ingeniería y Ciencia* [en línea], vol. 8, no. 16, pp. 97-127. [Consulta: 27 septiembre 2022]. ISSN 1794-9165. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-91652012000200005&lng=en&nrm=iso&tlng=es.

MÁRTIL, I., 2016. La invisible y muy real radiación infrarroja. [en línea]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2016/05/27/la-invisible-y-muy-real-radiacion-infrarroja/>.

MARTÍNEZ, I., 1992. Convección térmica y másica. En: DOSSAT S.A. (ed.), *Termodinámica Básica y Aplicada*. Madrid, España: s.n., pp. 243-268. ISBN 84-237-0810-1.

OPTRIS, infrared measurements, [sin fecha]. Fundamentos y función de la medición IR de la temperatura. [en línea]. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.optris.es/concepto-basico-de-infrarrojo>.

POMA VILCAHUAMAN, S.A., 2012. Uso de la termografía en el programa de mantenimiento de la subestación de distribución esperanza – unidad administradora Chungar – Volcan. *Universidad Nacional del Centro del Perú* [en línea], [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2972>.

SANTAMARÍA HOLEK, R., 2012. Los 10 Errores que no debe cometer en su Programa de Termografía. . Querétaro, México:

SERRANO MALAGÓN, L.M. y NÚÑEZ CAMPO AURY MARGARITA, 2011. *Estado del arte de la termografía infrarroja como herramienta en los procesos industriales* [en línea]. Tesis de posgrado. Bucaramanga, Bolivia: Universidad Pontificia Bolivariana. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1644/digital_21065.pdf.

TORRES LEONES, R.R., 2021. Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los equipos de subestaciones mediante inspección termográfica. [en línea], [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/17181>.

VELÁSQUEZ FABRICIO ISMAEL SÁNCHEZ GAVILANES EDWIN PAÚL, M. y GONZÁLEZ, I., 2018. Diseño de un plan de mantenimiento, basado en la cargabilidad y análisis de resultados termográficos predictivos, para las subestaciones de la Unidad de negocio Bolívar. [en línea], [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4557>.

WEIHUI FU, 2000. *Risk assessment and optimization for electric power systems* [en línea]. Doctoral thesis. Ames, Iowa: Iowa State University. [Consulta: 27 septiembre 2022]. Disponible en: <https://dr.lib.iastate.edu/handle/20.500.12876/66079>.

X. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

INSTRUCTIVO PARA LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA DE EQUIPOS DE PATIO EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN CON TECNOLOGÍA AIS						
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	DEPENDIENTE			1. Tipo y diseño de investigación
¿En qué medida el uso de tecnología infrarroja (IR) aplicada en la termografía, ayudará a mejorar el mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión en Perú?	Usar de la termografía infrarroja (IR) para mejorar el mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión en Perú.	<p>*Hipótesis alternativa (Hi): El uso de la tecnología infrarroja (IR) aplicada la termografía, ayudará a mejorar el mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión en Perú.</p> <p>*Hipótesis nula (Ho): El uso de la tecnología infrarroja (IR) aplicada la termografía, no ayudará a mejorar el mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión en Perú.</p>	Mantenimiento de las subestaciones AIS de alta tensión	Detección de puntos calientes	Alta temperatura	Tipo mixta - campo, teórica y práctica.
				Detección de fallas potenciales	Anomalías en la variación de temperatura	2. Método de investigación
				Detección de falsos contactos	Bajas temperaturas	Experimental y observacional.
				Detección de desbalance entre fases	Desequilibrio en el delta de temperatura	3. Población y muestra
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	Equipos de patio principales de alta tensión.

<p>¿Qué parámetros de termografía infrarroja (IR) se debe tener en cuenta en los trabajos de campo?</p>	<p>Determinar los parámetros de termografía infrarroja (IR) que se debe tener en cuenta en los trabajos de campo</p>	<p>El uso de la termografía infrarroja (IR) deberá tener en cuenta ciertos parámetros para una adecuada medida en los trabajos de campo</p>	<p>Uso de tecnología infrarroja (IR) aplicada en la termografía</p>	<p>Emisividad</p>	<p><0,6 - 1></p>	<p>4. Lugar de estudio y periodo desarrollado.</p>
<p>¿Cómo identificar los componentes eléctricos defectuosos con la aplicación de la termografía infrarroja (IR)?</p>	<p>Determinar la aplicación de la termografía infrarroja (IR) para la identificación de componentes eléctricos de alta tensión defectuosos</p>	<p>El uso de la termografía infrarroja ayudará a identificar los componentes eléctricos defectuosos en un patio de llaves de alta tensión</p>		<p>Distancia</p>	<p>hasta 25 m.</p>	<p>Subestaciones AIS de alta tensión, Lima 2019.</p>
<p>¿Qué plan de mantenimiento se debe realizar para determinar el diagnóstico el impacto de la tecnología infrarroja en las subestaciones AIS?</p>	<p>Elaborar un plan de mantenimiento para determinar el diagnóstico del uso de las tecnologías infrarrojas aplicadas a las subestaciones AIS</p>	<p>El plan de mantenimiento permitirá determinar el impacto del uso de tecnología infrarroja aplicada a las subestaciones AIS</p>		<p>Temperatura atmosférica</p>	<p>Depende de la tempratura del objeto y la emisividad.</p>	<p>5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.</p>
				<p>Humedad relativa</p>	<p>< 100%</p>	<p>Estadística y descriptible. Siendo la recolección de datos por medio de la tomade muestras con un dispositivo.</p>

Anexo 2. Especificaciones técnicas de FLIR T420

FLIR T420 & T440

High Performance Infrared Camera With on-board Visual Camera, Thermal Fusion, Touch Screen, Wi-Fi Connectivity, & Interchangeable Lens, Plus MSX™ Image Enhancement & FOV Match

Get maximum flexibility and efficiency out of 320 x 240 thermal imaging from our new T400 line.

Superior Thermal Imaging – Sharp thermal resolution at 76,800 pixels for solid accuracy from farther away

New! MSX™ Enhancement – Multi-Spectral Dynamic Imaging adds visible spectrum definition to IR images in real time for extraordinary thermal detail that instantly highlights and orients problem locations (T440 only)

New! Field of View (FOV) Match – Now you have the option to automatically match the visible camera field of view to the IR FOV for better documentation

Wi-Fi Connectivity – Send images and data to smart phones and tablets (ie. iPhone®, iPad®, iPod touch®, or Android™) to share images and critical information quickly using FLIR Tools Mobile app

Accurate Temperature Measurements – Accuracy calibrated within +/- 2°C or +/- 2% of reading

High Temperature Range – measuring up to 2192°F (1200°C) targeting electrical and industrial applications (T440 model)

Scalable P-i-P and Thermal Fusion – Blend thermal with visible light images on-screen; includes picture-in-picture window sizing

Multiple Measurements – Add up to 5 box areas and 5 moveable spots using the touchscreen to gather more detailed information

METERLiNK® – Wirelessly transmit vital diagnostic data from clamp and moisture meters directly to the camera for annotating thermal images to further support findings and decisions

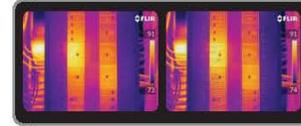
Annotation – Add voice comments via Bluetooth headset and text notes from the touchscreen keypad; New! T440 has image sketch feature to draw circles and pointers on IR/Visual stored images

InstantReport – Create PDF document directly from the camera

Includes – SD Memory Card, 100-260V AC adaptor/charger, two Li-ion rechargeable batteries, 2-bay battery charger, power supply (with multi-plugs), FLIR Tools software, USB cable, video cable, sun shield, Bluetooth® headset, lens cap, neckstrap, and hard case



Wi-Fi Connectivity



Original IR Image on the Left and with MSX™ Enhancement on the Right image (available on T440 model)



Built-in 3.1MP Digital Camera, LED Lamp, Laser Pointer, Fine Focus Adjust, and Auto focus & Image Capture Button. 120° Rotating Lens with 8X Continuous Zoom



Thermal Fusion is an Infrared image shown above, below or within temperature interval blended onto a digital image



Wireless METERLiNK® Communication via Bluetooth®



Applications



Utility Market — Utilities worldwide use infrared cameras to locate problems or to detect hot spots and other problems before they turn into costly failures and production downtime or dangerous electrical fires.



Electrical Inspections — With FLIR thermal imaging cameras electrical contractors can scan electrical cabinets/panels and components for a non-contact view of conditions.

Imaging Specifications

FEATURES	FLIR T420	FLIR T440
Temperature range	-4°F to 1202°F (-20°C to 650°C)	-4°F to 2192°F (-20°C to 1200°C)
Zoom	4X Continuous	8X Continuous
LCD Image Sketch	—	Draw on stored images right on touchscreen
Multi-Spectral Dynamic Imaging (MSX)	—	IR image with enhanced detail presentation
Measurement Presets	—	Presets for standard measurements
Profile Measurement Analysis	—	Shows a live graph of temperatures across a line on the image
COMMON FEATURES		
Frame Rate	60Hz	
Field of view/Minimum focus distance/FOV Match	25° x 19° / 1.31ft (0.4m) / Field of View Match where Digital Image FOV adapts to the IR lens	
Focus	Manual/Automatic	
Thermal sensitivity (N.E.T.D)	<0.045°C at 30°C	
Detector Type - Focal plane array (FPA) uncooled microbolometer	320 x 240 pixels	
Spectral range	7.5 to 13µm	
Display	Built-in touch-screen 3.5" color LCD	
Image modes	Thermal/Visual/Fusion/P+P and Thumbnail Gallery	
Image Storage	1000 radiometric JPEG images (SD card memory)	
Image annotation	Voice (60 sec), text comments, Sketch, image markers on IR	
Periodic image storage	7 seconds to 24 hours (IR) and 14 seconds to 24 hours (IR and visual)	
Lens	25° (optional 6°, 15°, 45°, 90°, Close up 100, 50µm lenses available)	
Video Lamp	Bright LED lamp	
Laser Classification/Type	Class 2/Semiconductor AlGaInP Diode Laser: 1mW/635nm (red)	
Set-up controls	Mode selector, color palettes, configure info to be shown in image, local adaptation of units, language, date and time formats, and image gallery	
Measurement modes	5 Spotmeters, 5 Box areas, Isotherm, Auto hot/cold spot, Delta T	
Measurement correction	Reflected ambient temperature & emissivity correction	
Video Recording in Camera and Video Streaming	Non-radiometric IR-video recording (MPEG-4 to memory card), Radiometric IR-video streaming (Full dynamic to PC using USB or Wi-Fi), and Non-radiometric IR-video streaming (MPEG-4 using Wi-Fi and uncompressed colorized video using USB)	
Instant Report	Create a Thermographic Inspection report directly in the camera	
Battery Type/operating time	L-Ion/ >4 hours, Display shows battery status	
Charging system	In camera AC adapter/2 bay charging system	
Shock / Vibration	25G, IEC 60068-2-29 / 2G, IEC 60068-2-6	
Dimensions/Weight	4.2x7.9x4.9" (106x201x125mm)/1.94lbs (0.88kg), including battery	
2-5-10 Warranty	When the camera is registered within 60 days: 2 years on Parts/Labor for the Camera; 5 years of Coverage on Batteries; 10 years of Protection on the IR Detector	

Ordering Information

62101-0101 FLIR T420 Thermal Imaging InfraRed Camera (320x240)
 62101-0301 FLIR T440 Thermal Imaging InfraRed Camera (320x240)

ACCESSORIES

1195398 L-Ion Rechargeable Battery
 1910490 Cigarette Lighter Adapter Kit, 12VDC (1.2m cable)
 T197650 2-Bay Battery Charger including Power Supply (multi plugs)
 T1911048 Camera Pouch Case
 T197717 FLIR Reporter Professional
 4114887 FLIR ThermoTrak™

CERTIFICATION TRAINING

ITC LEVEL I ITC Level I Certification Training per attendee



10-Year Detector Protection
 5-Year Battery
 2-Year Parts & Labor



PH: +1 877.239.8324 | FAX: +1 603.324.7864 | www.extech.com/tseries

Equipment described herein may require US Government authorization for export purposes. Diversion contrary to US law is prohibited. Imagery used for illustration purposes only. Specifications are subject to change without notice. ©2012 FLIR Systems, Inc. All rights reserved. 3300 (Rev. 04/12)

www.flir.com
 NASDAQ: FLIR

Anexo 3. Termohigrómetro Fluke 971

Medidor de humedad relativa y temperatura 971 Medidores de monóxido de carbono

FLUKE .



Fluke 971

Fluke 971

Medidor de humedad relativa y temperatura

Obtenga rápidamente lecturas precisas de la humedad y temperatura del aire. La temperatura y la humedad son dos factores importantes para mantener unos niveles óptimos de calidad del aire en interiores. El Fluke 971 es una herramienta de gran valor para el personal de mantenimiento y los técnicos de instalaciones, los instaladores de sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado, y los profesionales que evalúan la calidad del aire en interiores. Ligero, resistente y cómodo, el Fluke 971 es perfecto para su perisar zonas problemáticas.

- Mide simultáneamente la humedad y la temperatura
- Mide el punto de rocío y el bulbo húmedo
- Capacidad de almacenamiento de 99 registros
- Retención de datos en pantalla y registro de valores mínimos, máximos y promedio
- Diseño ergonómico con pinza para el cinturón incorporada y funda protectora
- Pantalla de lectura doble con retroiluminación
- Capuchón protector giratorio
- Indicador de batería baja

Especificaciones

Rango de temperatura	-20 °C a 60 °C
Precisión de temperatura	
0 °C a 45 °C	±0,5 °C
-20 °C a 0 °C y 45 °C a 60 °C	±1,0 °C
Resolución	0,1 °C
Tiempo de respuesta (temperatura)	500 ms
Tipo de sensor de temperatura	NTC
Rango de humedad relativa	5% a 95% H.R.
Precisión de humedad relativa	
10% a 90% H.R. a 23 °C	±2,5% H.R.
<10% a 90% H.R. a 23 °C	±5,0% H.R.
Sensor de humedad	Sensor de película de polímero de capacitancia electrónica
Almacenamiento de datos	99 puntos
Tiempo de respuesta (humedad)	Para el 90% del rango total: 60 segundos con movimiento de aire de 1 m/s

Otras herramientas útiles



Fluke 561
Termómetro con binado de contacto y sin contacto



Fluke 416D
Medidores láser de distancia

Temperatura de trabajo: -20 a 60 °C
(para medidas de humedad: 0 a 60 °C)
Temperatura de almacenamiento:
-20 °C a 55 °C
Vida útil de la batería: 4 AAA alcalinas,
200 horas

Seguridad: cumple con EN61326-1
Peso: 0,188 kg
Tamaño (LxAxP): 194 mm x 60 mm x 34 mm
Garantía: 1 año

Medidores de monóxido de carbono

CO-220 Comprobador de monóxido de carbono

El comprobador de monóxido de carbono CO-220 permite detectar de forma precisa y sencilla los niveles de CO. Su gran pantalla LCD con retroiluminación muestra estos niveles en un rango de 0 a 1.000 partes por millón (ppm). La función de retención de datos en pantalla y registro de valores máximos almacena y muestra el nivel máximo de CO. 1 año de garantía.



Fluke CO-220

CO-205 Kit aspirador

Junto con el comprobador CO-220, este kit permite tomar muestras de gases de combustión con una temperatura de hasta 371 °C. 1 año de garantía.



Fluke CO-205

Accesorios incluidos

Fluke CO-220: Estuche flexible C50 y batería

Información para pedidos

Fluke 971	Medidor de humedad relativa y temperatura
Fluke CO-220	Medidor de monóxido de carbono
CO-205	Kit aspirador

10936-spa Rev. 02

Maintenance Testing Specifications for Electric Power Distribution Equipment and Systems



These specifications have been developed
by the
InterNational Electrical Testing Association
for use by
electrical power distribution system engineers.

©Copyright 1997
InterNational Electrical Testing Association
P.O. Box 687, 106 Stone Street
Morrison, CO 80465
303-697-8441 FAX: 303-697-8431
E-mail: neta@compuserve.com



NETA Technical Committee

These specifications were prepared by the NETA Technical Committee. At the time these specifications were approved, the contributors to this Committee were

	Alan D. Peterson, Chair	
Charles Blizard	Roderic Hageman	Al Marden
Rafael Castro	Vern Hegg	Charles Potter
Glen Chynoweth	Bob Hettchen	Keith Robertson
Tim Cotter	Jeffrey J. Hopper	Richard Sobhraj
Larry Christodoulou	Fredi Jakob	Sandy Svatos
Herb Foster	Thomas G. Kunz	John Snell
Diane Hageman	Mark Lautenschlager	David Volz
	Richard R. Lussier, Jr.	

NETA Standards Review Council

Charles K. Blizard	Alan D. Peterson, Chair	Mark Lautenschlager
Diane W. Hageman	Roderic L. Hageman	Mary R. Jordan

NOTICE

In no event shall the InterNational Electrical Testing Association be liable to anyone for special, collateral, incidental, or consequential damages in connection with or arising out of the use of these materials. This document should not be confused with federal, state, or municipal specifications or regulations, insurance requirements, or national safety codes. While the Association recommends reference to or use of this document by government agencies and others, use of this document is purely voluntary and not binding.

This document is subject to periodic review, and users are cautioned to obtain the latest edition. Comments and suggestions are invited from all users for consideration. All questions or other communications relating to this document should be sent only to NETA headquarters, addressed to the attention of the appropriate section.

For information on the procedures for requesting Formal Interpretations, proposing Tentative Interim Amendments, proposing amendments for consideration, and appeals on matters relating to the content of the document, write to Secretariat, Standards Review Council, InterNational Electrical Testing Association. A statement, written or oral, that is not processed in accordance with *NETA Operating Procedures for Standards Accreditation* shall not be considered the official position of NETA or any of its Section Panels and shall not be considered to be, nor relied upon as, a Formal Interpretation.

Mary R. Jordan, EdD - Executive Director
Jayne M. Hudson - Executive Assistant

InterNational Electrical Testing Association (NETA)
PO Box 687/108 Stone St. • Morrison, CO 80465 • 303-697-8441 • fax 697-8431 • neta@compuserve.com

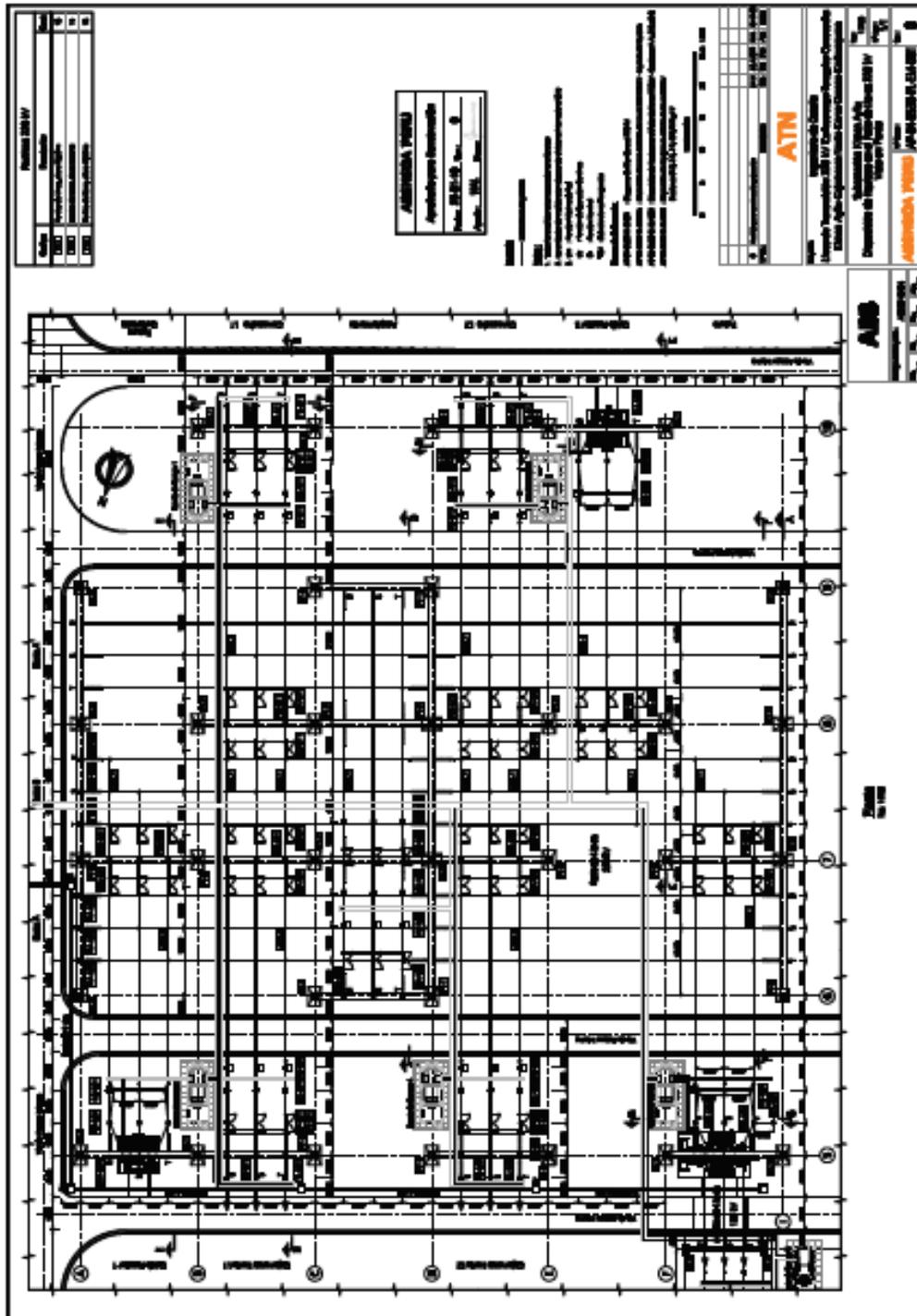
TABLE 10.18
Thermographic Survey
Suggested Actions Based on Temperature Rise

Temperature difference (DT) based on comparisons between similar components under similar loading.	Temperature difference (DT) based upon comparisons between component and ambient air temperatures.	Recommended Action
1°C - 3°C	0°C - 10°C	Possible deficiency; warrants investigation
4°C - 15°C	11°C - 20°C	Indicates probable deficiency; repair as time permits
-----	22°C - 40°C	Monitor continuously until corrective measures can be accomplished
> 16°C	> 40°C	Major discrepancy; repair immediately

Temperature specifications vary depending on the exact type of equipment. Even in the same class of equipment (i.e., cables) there are various temperature ratings. Heating is generally related to the square of the current; therefore, standards for ΔT , the value of $I^2 R$, are in the absence of consensus



Anexo 5. Diagrama de planta de patio de llaves de SE Kiman Ayllu 220 kV



Anexo 7. Certificados de calibración de equipos utilizados



LABORATORIO DE CALIBRACIONES
Formato:GTE-LAB-REG-015
Página: 1 de 1

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 181526

Datos Generales

Solicitante: **OMEGA PERU OPERACION Y MANTENIMIENTO S.A**
 Dirección: **#V. CANAVAL Y MOREYRA,FCO NRO. 562 URB. EL PALOMAR - SAN ISIDRO - LIMA**
 Equipo: **TERMO-HIGROMETRO**
 Marca: **FLUKE**
 Modelo: **991**
 Número de serie: **30770928**
 Fecha de calibración: **2018-04-12**

Método de Calibración
 Determinación del error por comparación directa con nuestro patrón.

Patrón Utilizado

Descripción	N° Serie.	Trazabilidad	Validez
Termo-higrómetro Digital	99006835	KOSSCO Certificado N°: TH17-0320 Fecha de Calibración: 2017-10-02	1 año.

Lugar de Calibración
 Realizada en las instalaciones del Laboratorio de Calibraciones de LOGYTEC S.A.
 Calle Isidoro Suárez # 238 - San Miguel - Lima

Condiciones Ambientales

Temperatura Ambiente: 23 °C ± 1 °C	Humedad Relativa: 60 % ± 6 %
---	-------------------------------------

Nota
 Los resultados expresados en este Certificado son válidos únicamente para la unidad ensayada, no siendo extensivos a otras unidades aun cuando fueren del mismo tipo y lote.

Resultados de la Calibración de Temperatura (1 pto)

Escala	Patrón	Lectura	Corrección	Incertidumbre
°C	23.10 °C	23.10 °C	0.00 °C	0.20 °C

Resultados de la Calibración de Humedad Relativa (1 pto)

Escala	Patrón	Lectura	Corrección	Incertidumbre
%HR	63.20 %	63.30 %	-0.10 %	1.8 %

Observaciones
 Del resultado de las mediciones se concluye que el instrumento se encuentra calibrado y dentro de su clase de precisión.

Calibrado por:


 Eduardo Fernández Ufese
 Laboratorio Calibraciones



Toda reproducción de este documento deberá ser íntegra y sin ninguna alteración

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N.º 193407

Datos generales

Cliente: OMEGA PERU OPERACION Y MANTENIMIENTO S.A
Dirección: AV. CARNAVAL Y MOREYRA, P.O. BOX 562 URB. EL PALOMAR - LIMA
Fecha de calibración: 2019-08-07
Próxima calibración: 2022-08-07

Datos del instrumento

Tipo: CAMARA TERMOCRAFICA
Marca: FLUJ
Modelo: T420
Serie: 62115474

Método de Calibración

Por comparación directa con nuestro patrón.
 Se han tomado cinco lecturas por cada valor nominal.

Patrón(es) utilizado(s)

Descripción	Número de serie	Trazabilidad	Validez
CUERPO NEGRO EXTCH	9084155	Laboratorio Kowasmet Cae. 15218-6071 2019-03-21	3 años

Lugar de calibración

Realizada en las instalaciones de Laboratorio de Calibraciones de LOGYTEC S.A.
 Calle Isidro Suárez 236 - San Miguel - Lima

Condiciones Ambientales

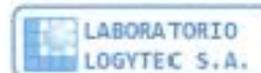
Temperatura Ambiente	Humedad Relativa
22,5 °C ± 3 °C	60 % ± 7 %

Nota:

Los resultados expresados en este Certificado son válidos únicamente para la unidad ensayada, no siendo extensivos a otras unidades aun cuando fueran del mismo tipo y lote.

La incertidumbre total expresada está basada en una incertidumbre patrón combinada multiplicada por un factor de expansión k=2 para un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

Toda reproducción de este documento deberá ser íntegra y sin ninguna alteración.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N.º 193407

Resultado de la calibración

Resistencia

Alcance	Nominal	Patrón	Lectura	Error	Incertidumbre
50°C – 350 °C	50 °C	49,89 °C	49,99 °C	1,010 °C	0,30 °C
	100 °C	99,63 °C	99,80 °C	1,170 °C	0,58 °C
	150 °C	149,57 °C	150,10 °C	1,530 °C	0,87 °C
	200 °C	199,49 °C	199,30 °C	0,810 °C	1,16 °C
	250 °C	249,10 °C	249,50 °C	1,400 °C	1,45 °C

Calibrado por:


Eduardo Fernández



Fin del documento

Anexo 8. Formato de AST

5.2. Análisis Seguro de Trabajo.			
Actividades	Peligros	Riesgos Asociados	Medidas Preventivas
Inspección Termográfica	Equipos Energizados	Electrocución	No sobrepasar la mínima distancia de seguridad con las zonas tensionadas.
	Posturas inadecuadas	Riesgos ergonómicos	Realizar ejercicios de estiramiento (pausas activas). Adoptar posturas ergonómicas.
	Zona de trabajo	Caídas al mismo nivel	Personal capacitado para realizar la tarea. Uso de EPP. Zona de trabajo limpia y ordenada, sin materiales y herramientas que obstaculicen la labor.

Anexo 9. Informe de termografía

6.- Medio Ambiente				
Sub – Procesos / Actividades	Aspecto Ambiental	Aspecto Ambiental relacionado con	Impacto Ambiental	Controles Asociados
Inspección Termográfica	Generación de residuos	Baterías.	Contaminación del suelo	Contar con puntos de acopio y/o almacenes temporales de residuos para garantizar la adecuada clasificación y almacenamiento de residuos.

Anexo 10. Informe de termografía

ABENGOA OMEGA PERU		Informe Técnico IT-MT-SE-OCO-XXX-2019	Código: FPEJ-M-001.03 Versión: 03 Fecha: 18/01/2019																																																																																																															
1.	Equipos intervenidos:	Equipos de patio y cadena de aisladores.																																																																																																																
2.	Fecha:	10/11/2019																																																																																																																
3.	Hora Inicio:	08:40 h.																																																																																																																
4.	Hora Fin:	10:40 h.																																																																																																																
5.	Propietario:	ABY Transmisión Sur - SE Ocoña																																																																																																																
6.	Objetivo:	Realizar la Inspección Termográfica para verificar la existencia de puntos calientes en los accesorios metálicos y establecer comparaciones térmicas entre los componentes eléctricos homólogos del sistema, referidos a la visualización y variación entre los componentes bajo condiciones similares de operación.																																																																																																																
7.	Antecedentes:																																																																																																																	
8.	Desarrollo de Trabajos Realizados:	<p>Se realizó la inspección Termográfica a todos los equipos de patio y cadenas de aisladores correspondiente a la subestación de ABY Transmisión Sur - SE Ocoña.</p> <p>La potencia activa de la L-XXXX fue de XXX MW. El registro de temperatura de aceite de los equipos inductivos fue en promedio de °C aproximadamente.</p> <p>En el anexo se adjuntan los reportes analizados de cada equipo y cadena.</p> <p>Se ha establecido el siguiente sistema de valoración de temperatura y acciones sugeridas basadas en el incremento de temperatura entre componentes similares bajo cargas similares, según la norma ANSI/NETA MTS-2007:</p> <p style="text-align: center;">Tabla N°1: Sistema de valoración de T° y acciones sugeridas según ANSI/NETA MTS-2007</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Diferencia de Temperatura</th> <th>Relevancia</th> <th>Acción Recomendada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Menor igual a 1°C</td> <td>Normal</td> <td>No es necesaria ninguna actuación hasta el próximo estudio predictivo.</td> </tr> <tr> <td>1°C a 4°C</td> <td>Leve</td> <td>Realizar un seguimiento para ver la evolución del punto caliente.</td> </tr> <tr> <td>4°C a 15°C</td> <td>Grave</td> <td>Actuar lo antes posible, se aprovechará e corte más inmediato para corregir el problema.</td> </tr> <tr> <td>Mayor a 15°C</td> <td>Muy Crítico</td> <td>Interrumpir el suministro eléctrico inmediatamente para corregir el problema.</td> </tr> </tbody> </table> <p>A continuación, se presenta el resumen de resultados obtenidos de la Inspección Termográfica (ver Anexo N°1):</p> <p style="text-align: center;">Tabla N°2: Resumen de resultados obtenidos de equipos y cadenas de aisladores</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>Equipos de patio y/o Cadena</th> <th>Observación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>BCS-5482</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>2</td><td>BCS-5482</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>3</td><td>Interruptor capacitivo de BCS-5482</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>4</td><td>Interruptor capacitivo de BCS-5482</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>5</td><td>SL1/ST1-5482 lado BCS-5482</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>6</td><td>SL1/ST1-5482 lado SBP-5482</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>7</td><td>SL2/ST2-5482 lado BCS-5482</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>8</td><td>SL2/ST2-5482 lado SBP-5482</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>9</td><td>Aisladores postes 1, 2, 3 y 4 fase R entre BCS-5482 y SBP-5482</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>10</td><td>Aisladores postes 1, 2, 3, 4, 5 y 6 fase S entre BCS-5482 y SBP-5482</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>11</td><td>Aisladores postes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 fase T BCS-5482</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>12</td><td>Seccionador de apertura SBP-5482 (lado PRL-5462)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>13</td><td>Seccionador de apertura SBP-5482 (lado L-5034)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>14</td><td>Pararrayos PRL-5462</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>15</td><td>Transformador de tensión TTL-5462</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>16</td><td>Trampa de onda TRO-5462 fases S y T (lado TTL-5462)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>17</td><td>Trampa de onda TRO-5462 fases S y T (lado SLP/SPT-5462)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>18</td><td>Aislador soporte fase R (adyacente a TRO-5462)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>19</td><td>Seccionador de línea SLP/SPT-5462 (lado TRO-5462)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>20</td><td>Seccionador de línea SLP/SPT-5462 (lado conector de línea)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>21</td><td>Reactor de línea REL-5481 (bujes de alta)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>22</td><td>Reactor de línea REL-5481 (bujes de baja)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>23</td><td>Reactor de línea REL-5481 (cuba)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>24</td><td>Reactor de línea REL-5481 (tanque conservador)</td><td>Leve</td></tr> <tr><td>25</td><td>Reactor de línea REL-5481 (radiador)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>26</td><td>Pararrayos PRE-5481</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>27</td><td>Interruptor INT-5481 (lado PRE-5481)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>28</td><td>Interruptor INT-5481 (lado SRL-5481)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>29</td><td>Seccionador SRL-5481 (lado INT-5481)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>30</td><td>Seccionador SRL-5481 (lado barra A)</td><td>Normal</td></tr> <tr><td>31</td><td>Transformador de tensión TTA-5450 (fase R)</td><td>Normal</td></tr> </tbody> </table>		Diferencia de Temperatura	Relevancia	Acción Recomendada	Menor igual a 1°C	Normal	No es necesaria ninguna actuación hasta el próximo estudio predictivo.	1°C a 4°C	Leve	Realizar un seguimiento para ver la evolución del punto caliente.	4°C a 15°C	Grave	Actuar lo antes posible, se aprovechará e corte más inmediato para corregir el problema.	Mayor a 15°C	Muy Crítico	Interrumpir el suministro eléctrico inmediatamente para corregir el problema.	Item	Equipos de patio y/o Cadena	Observación	1	BCS-5482	Normal	2	BCS-5482	Normal	3	Interruptor capacitivo de BCS-5482	Normal	4	Interruptor capacitivo de BCS-5482	Normal	5	SL1/ST1-5482 lado BCS-5482	Normal	6	SL1/ST1-5482 lado SBP-5482	Normal	7	SL2/ST2-5482 lado BCS-5482	Normal	8	SL2/ST2-5482 lado SBP-5482	Normal	9	Aisladores postes 1, 2, 3 y 4 fase R entre BCS-5482 y SBP-5482	Normal	10	Aisladores postes 1, 2, 3, 4, 5 y 6 fase S entre BCS-5482 y SBP-5482	Normal	11	Aisladores postes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 fase T BCS-5482	Normal	12	Seccionador de apertura SBP-5482 (lado PRL-5462)	Normal	13	Seccionador de apertura SBP-5482 (lado L-5034)	Normal	14	Pararrayos PRL-5462	Normal	15	Transformador de tensión TTL-5462	Normal	16	Trampa de onda TRO-5462 fases S y T (lado TTL-5462)	Normal	17	Trampa de onda TRO-5462 fases S y T (lado SLP/SPT-5462)	Normal	18	Aislador soporte fase R (adyacente a TRO-5462)	Normal	19	Seccionador de línea SLP/SPT-5462 (lado TRO-5462)	Normal	20	Seccionador de línea SLP/SPT-5462 (lado conector de línea)	Normal	21	Reactor de línea REL-5481 (bujes de alta)	Normal	22	Reactor de línea REL-5481 (bujes de baja)	Normal	23	Reactor de línea REL-5481 (cuba)	Normal	24	Reactor de línea REL-5481 (tanque conservador)	Leve	25	Reactor de línea REL-5481 (radiador)	Normal	26	Pararrayos PRE-5481	Normal	27	Interruptor INT-5481 (lado PRE-5481)	Normal	28	Interruptor INT-5481 (lado SRL-5481)	Normal	29	Seccionador SRL-5481 (lado INT-5481)	Normal	30	Seccionador SRL-5481 (lado barra A)	Normal	31	Transformador de tensión TTA-5450 (fase R)	Normal
Diferencia de Temperatura	Relevancia	Acción Recomendada																																																																																																																
Menor igual a 1°C	Normal	No es necesaria ninguna actuación hasta el próximo estudio predictivo.																																																																																																																
1°C a 4°C	Leve	Realizar un seguimiento para ver la evolución del punto caliente.																																																																																																																
4°C a 15°C	Grave	Actuar lo antes posible, se aprovechará e corte más inmediato para corregir el problema.																																																																																																																
Mayor a 15°C	Muy Crítico	Interrumpir el suministro eléctrico inmediatamente para corregir el problema.																																																																																																																
Item	Equipos de patio y/o Cadena	Observación																																																																																																																
1	BCS-5482	Normal																																																																																																																
2	BCS-5482	Normal																																																																																																																
3	Interruptor capacitivo de BCS-5482	Normal																																																																																																																
4	Interruptor capacitivo de BCS-5482	Normal																																																																																																																
5	SL1/ST1-5482 lado BCS-5482	Normal																																																																																																																
6	SL1/ST1-5482 lado SBP-5482	Normal																																																																																																																
7	SL2/ST2-5482 lado BCS-5482	Normal																																																																																																																
8	SL2/ST2-5482 lado SBP-5482	Normal																																																																																																																
9	Aisladores postes 1, 2, 3 y 4 fase R entre BCS-5482 y SBP-5482	Normal																																																																																																																
10	Aisladores postes 1, 2, 3, 4, 5 y 6 fase S entre BCS-5482 y SBP-5482	Normal																																																																																																																
11	Aisladores postes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 fase T BCS-5482	Normal																																																																																																																
12	Seccionador de apertura SBP-5482 (lado PRL-5462)	Normal																																																																																																																
13	Seccionador de apertura SBP-5482 (lado L-5034)	Normal																																																																																																																
14	Pararrayos PRL-5462	Normal																																																																																																																
15	Transformador de tensión TTL-5462	Normal																																																																																																																
16	Trampa de onda TRO-5462 fases S y T (lado TTL-5462)	Normal																																																																																																																
17	Trampa de onda TRO-5462 fases S y T (lado SLP/SPT-5462)	Normal																																																																																																																
18	Aislador soporte fase R (adyacente a TRO-5462)	Normal																																																																																																																
19	Seccionador de línea SLP/SPT-5462 (lado TRO-5462)	Normal																																																																																																																
20	Seccionador de línea SLP/SPT-5462 (lado conector de línea)	Normal																																																																																																																
21	Reactor de línea REL-5481 (bujes de alta)	Normal																																																																																																																
22	Reactor de línea REL-5481 (bujes de baja)	Normal																																																																																																																
23	Reactor de línea REL-5481 (cuba)	Normal																																																																																																																
24	Reactor de línea REL-5481 (tanque conservador)	Leve																																																																																																																
25	Reactor de línea REL-5481 (radiador)	Normal																																																																																																																
26	Pararrayos PRE-5481	Normal																																																																																																																
27	Interruptor INT-5481 (lado PRE-5481)	Normal																																																																																																																
28	Interruptor INT-5481 (lado SRL-5481)	Normal																																																																																																																
29	Seccionador SRL-5481 (lado INT-5481)	Normal																																																																																																																
30	Seccionador SRL-5481 (lado barra A)	Normal																																																																																																																
31	Transformador de tensión TTA-5450 (fase R)	Normal																																																																																																																

32	Seccionador de barra SBA-5462 (lado barra A)	Leve
33	Seccionador de barra SBA-5462 (lado INT-5462)	Normal
34	Aisladores de SBA-5462 fases R (R1) y S (S1-S2)	Normal
35	Interruptor INT-5462 (lado SBA-5462)	Normal
36	Interruptor INT-5462 (lado TCL-5462)	Leve
37	Transformador de corriente TCL-5462 (lado INT-5462)	Leve
38	Transformador de corriente TCL-5462 (cabezales)	Normal
39	Transformador de corriente TCL-5462 (lado SBL-5462)	Leve
40	Seccionador SBL-5462 (lado TCL-5462)	Leve
41	Seccionador SBL-5462 (lado SCA-5451)	Leve
42	Seccionador SCA-5451 (lado SBL-5462)	Normal
43	Seccionador SCA-5451 (lado INT-5462)	Leve
44	Interruptor INT-5451 (lado SCA-5451)	Normal
45	Interruptor INT-5451 (lado TCC-5451)	Leve
46	Transformador de corriente TCC-5451 (lado INT-5451)	Normal
47	Transformador de corriente TCL-5462 (cabezales)	Normal
48	Transformador de corriente TCL-5462 (lado SCB-5451)	Leve
49	Seccionador SCB-5451 (lado TCC-5451)	Normal
50	Seccionador SCB-5451 (lado celda 5451)	Leve
51	Seccionador SBL-5461 (lado celda 5451)	Normal
52	Seccionador SBL-5461 (lado TCL-5461)	Leve
53	Transformador de corriente TCL-5461 (lado SBL-5461)	Leve
54	Transformador de corriente TCL-5461 (cabezales)	Normal
55	Transformador de corriente TCL-5461 (lado INT-5461)	Normal
56	Interruptor INT-5461 (lado TCL-5461)	Normal
57	Interruptor INT-5461 (lado barra B)	Normal
58	Transformador de tensión TTB-5460 (fase R)	Normal
59	Seccionador de barra SBB-5461 (lado INT-5461)	Normal
60	Seccionador de barra SBB-5461 (lado barra B)	Leve
61	Aisladores de SBB-5461 fases S (S1) y T (T1-T2)	Normal
62	Seccionador SRL-5483 (lado barra B)	Normal
63	Seccionador SRL-5483 (lado INT-5483)	Leve
64	Interruptor INT-5483 (lado SRL-5483)	Normal
65	Interruptor INT-5483 (lado PRE-5483)	Normal
66	Pararrayos PRE-5483	Normal
67	Reactor de línea REL-5483 (bujes de alta)	Normal
68	Reactor de línea REL-5483 (bujes de baja)	Normal
69	Reactor de línea REL-5483 (cuba)	Normal
70	Reactor de línea REL-5483 (tanque conservador)	Normal
71	Reactor de línea REL-5483 (radiador)	Normal
72	Conector SLP/SPT-5461 - línea	Normal
73	Seccionador SLP/SPT-5461 (lado REL-5483)	Normal
74	Seccionador SLP/SPT-5461 (lado REL-5483)	Normal
75	Trampa de onda TRO-5461 fases R y S (lado SLP/SPT-5461)	Normal
76	Trampa de onda TRO-5461 fases S y S (lado TTL-5461)	Normal
77	Aislador soporte fase T (adyacente a TRO-5461)	Normal
78	Transformador de tensión TTL-5461	Normal
79	Pararrayos PRL-5461	Normal
80	BCS-5484	Normal
81	BCS-5484	Normal
82	Interruptor capacitivo de BCS-5484	Normal
83	Interruptor capacitivo de BCS-5484	Normal
84	SL1/ST1-5484 lado BCS-5484	Leve
85	SL1/ST1-5484 lado SBP-5484	Normal
86	SL2/ST2-5484 lado BCS-5484	Normal
87	SL2/ST2-5484 lado SBP-5484	Leve
88	Aisladores postes 1, 2, 3 y 4 fase R entre BCS-5484 y SBP-5484	Normal
89	Aisladores postes 1, 2, 3, 4, 5 y 6 fase S entre BCS-5484 y SBP-5484	Normal
90	Aisladores postes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 fase T BCS-5484	Normal
91	Seccionador de apertura SBP-5484 (lado PRL-5461)	Leve
92	Seccionador de apertura SBP-5484 (lado L-5036)	Normal
93	Reactor de barra REB-5450 (bujes de alta)	Normal

94	Reactor de barra REB-5450 (bujes de baja)	Normal
95	Reactor de barra REB-5450 (cuba)	Normal
96	Reactor de barra REB-5450 (tanque conservador)	Normal
97	Reactor de barra REB-5450 (radiador)	Normal
98	Pararrayos PRE-5450	Normal
99	Aislador delta de terciario REB-5450	Leve
100	Fusible FUB-5450	Normal
101	Transformador de servicios auxiliares TSA-5450	Leve
102	Interruptor INT-5450 (lado TSA-5450)	Normal
103	Interruptor INT-5450 (lado SBA-5450)	Normal
104	Seccionador de barra SBA-5450 (lado INT-5450)	Normal
105	Seccionador de barra SBA-5450 (lado barra A)	Normal
106	Cadena de llegada Poroma	Leve
107	Cadena invertida de llegada Poroma	Normal
108	Cadena de llegada Poroma lado celda 5482	Normal
109	Cadena entre celdas 5482 y 5462 (lado 5482)	Normal
110	Cadena entre celdas 5482 y 5462 (lado 5462)	Normal
111	Cadena entre celdas 5481 y 5462 (lado 5481)	Normal
112	Cadena entre celdas 5481 y 5462 (lado barra A)	Leve
113	Cadena invertida entre celdas 5481 y 5462	Normal
114	Cadena invertida entre SBA-5450 y barra A	Normal
115	Cadena entre SBA-5450 y barra A	Normal
116	Cadena barra A (lado TTA-5450 fase R)	Leve
117	Cadena invertida en V barra A	Normal
118	Cadena barra A (lado fase R de SBA-5450)	Normal
119	Cadena invertida entre celdas 5462 y 5451	Normal
120	Cadena entre celdas 5462 y 5451 (lado 5451)	Leve
121	Cadena invertida entre celdas 5451 y 5461	Normal
122	Cadena entre celdas 5451 y 5461 (lado 5461)	Normal
123	Cadena barra B (lado TTB-5460 fase R)	Leve
124	Cadena invertida en V barra B	Normal
125	Cadena barra B (lado fase R de celda 5450)	Normal
126	Cadena barra B (lado fases R, S y T de celda 5450)	Normal
127	Cadena entre barra B y celda 5483 (lado SBB-5461)	Normal
128	Cadena invertida entre barra B y celda 5483	Leve
129	Cadena entre barra B y celda 5483 (lado SBB-5483)	Normal
130	Cadena entre REL-5483 y celda 5461 (lado TR-O-5483)	Leve
131	Cadena entre REL-5483 y celda 5461 (lado 5461)	Leve
132	Cadena de salida a Montalvo (lado SBP-5484)	Normal
133	Cadena invertida de salida a Montalvo (lado L-5036)	Leve
134	Cadena de salida a Montalvo (lado L-5036)	Normal

9. Recursos utilizados:
- 01 Cámara Termográfica
 - 01 Personal de mantenimiento
 - 01 Termohigrómetro
 - 01 Distanciómetro
 - 01 Hoja de apuntes
10. Documentación Aplicable:
- Norma ANGINETA MTS-2007.
 - Instructivo: INT-M-108 Inspección Termográfica.
 - Diagrama unifilar de la subestación.
 - Plano vista planta del patio de llaves.
11. Incidentes en la Seguridad y Salud en el Trabajo y en el Medio Ambiente:
- Ninguno.
12. Conclusiones:
- Se realizó satisfactoriamente la inspección termográfica y no se encontró puntos graves.
13. Recomendaciones:
- Hacer un monitoreo a los equipos que resultaron con deitas leves en la inspección.

- Hacer un monitoreo periódico (01 vez al año), a fin de descartar la presencia puntos calientes.

14. Anexos:

Ver Anexo N°1: Presentación Termográfica por cada equipo de patio y cadenas de aisladores.

Elaborado por:

Revisado por:

Aprobado por:

Hervi Gutierrez Véliz

Guillermo Arancibia Tupayachi

Anexo 11. Instructivo de inspección termográfica

ABENGOA OMEGA PERU	Inspección de Termografía en Patio de Llaves SSEE	Código: NT-M-108 Versión: 00 Fecha: 18/03/2016 Página: 1 de 4
------------------------------	--	--

1.- Objetivo

Realizar la inspección Termográfica de los accesorios metálicos, en la cual se establezcan comparaciones térmicas entre los componentes eléctricos homólogos del sistema, referidos a la visualización y variación entre los componentes bajo condiciones similares de operación.

La finalidad es garantizar la confiabilidad de los equipos del patio de llaves y con ello evitar fallas por seccionamiento de conductor o ferretería de empalme, provocado por la fundición del material, a causa de sobre calentamiento por efecto Joule.

2.- Documentación de referencia

- Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo de las Actividades Eléctricas, RM-161-2007-
- EMDGE.
- Norma NTP-ISO 9001:2008, apartado 7.4.3 y 7.5.1.
- Manual del Sistema Integrado de Gestión, capítulo 6.3 y 7.4.
- Reglamento Interno de Seguridad en el Trabajo.
- Código Nacional de Electricidad – Suministro edición 2001-2011 Manual de seguridad

3.- Desarrollo

3.1 Condiciones Previas

- La subestación se debe encontrar en servicio.
- Se debe contar con las autorizaciones por parte del cliente.
- No se debe contar con lluvias en el patio de llaves.
- Verificar que los materiales, equipos y herramientas estén completos en el punto de la actividad. Así como los documentos relacionados (certificado de calibración de la cámara termográfica y la hoja de instrucciones del fabricante).
- Realizar charla de seguridad de 5 min.
- Realizar el llenado de ATS.

3.2 Materiales

- Cámara Termográfica.

3.3 Ejecución

- El Especialista pide permiso de trabajo para la inspección termográfica en la SE programada.
- Se corroborará la existencia de equipo y todos los materiales a usar.
- Para iniciar las labores se deberán seguir el instructivo de inspección termográfica y emplear todos los equipos de seguridad.
- Se dará la charla de seguridad de 05 minutos y luego se detallara los trabajos a realizar al personal de apoyo.

Elaborado por: Nombre: Carlos Aguilá Firma: 	Revisado por: Nombre: Juan Bravo Firma: 	Aprobado por: Nombre: Guillermo Arancibia Firma: 
--	--	--

Anexo 3. PROG-CAS-001.03

- Proceder con la inspección termográfica a una distancia no mayor a 15 mt. En diferentes posiciones. La inspección se hará en los terminales, grapas, uniones, bifilares, entorches, grillos, acometidas, contactos de seccionadores, conductor de línea y barra etc.
- El registro obtenido por medio de la cámara termográfica, se descargara en una PC, para realizar los respectivos análisis e informes.
- Al término de la inspección, proceder a cancelar el permiso solicitado

4.- Responsabilidades

- El jefe del área de mantenimiento tiene la responsabilidad de revisar, aprobar y difundir el presente documento.
- Supervisor de campo será la persona encargada de garantizar el cumplimiento del siguiente documento, certificar el proceso correcto de intervención y estado del equipo después de efectuado el trabajo.
- Técnico es el cargado de cumplir el presente instructivo para realizar la intervención al equipo.

5.- Seguridad y Salud en el Trabajo

- Realizar la charla de 5 minutos previa al inicio de la actividad.
- Realizar llenado de ATS.
- Contar con la aprobación de la documentación por parte del cliente (permiso de trabajo, permiso de bloqueo, etc)

5.1. Equipo de Protección Personal (EPP).

Símbolo	Descripción
	Guantes de badana, nitrilo o puntos de hilos.
	Zapatos de seguridad.
	Uniforme (camisa, pantalón o mameluco).
	Casco de seguridad con barbiquejo.
	Lentes de seguridad.

ABENGOA OMEGA PERU	Inspección de Termografía en Patio de Llaves SSEE	Código: INT-M-108 Versión: 00 Fecha: 18/03/2016 Página: 3 de 4
-------------------------------------	---	---

5.2. Análisis Seguro de Trabajo.

Actividades	Peligros	Riesgos Asociados	Medidas Preventivas
Inspección Termográfica	Equipos Energizados	Electrocución	No sobrepasar la mínima distancia de seguridad con las zonas tensionadas.
	Posturas inadecuadas	Riesgos ergonómicos	Realizar ejercicios de estiramiento (pausas activas). Adoptar posturas ergonómicas.
	Zona de trabajo	Caídas al mismo nivel	Personal capacitado para realizar la tarea. Uso de EPP. Zona de trabajo limpia y ordenada, sin materiales y herramientas que obstaculicen la labor.

6.- Medio Ambiente

Sub – Procesos / Actividades	Aspecto Ambiental	Aspecto Ambiental relacionado con	Impacto Ambiental	Controles Asociados
Inspección Termográfica	Generación de residuos	Baterías.	Contaminación del suelo	Contar con puntos de acopio y/o almacenes temporales de residuos para garantizar la adecuada clasificación y almacenamiento de residuos.

7.- Anexos

Abreviaturas

N°	Abreviatura	Descripción
1	PT	Permiso de trabajo
2	SE	Subestación
3	SSEE	Subestaciones Eléctricas
4	CC. ATN	Centro de Control ATN

Anexo 3. FPOG-CAS-001.03

Definiciones**a) Equipo Termógrafo**

Equipo utilizado en inspecciones Termográficas para determinar el grado de Temperatura a la que se encuentran los accesorios metálicos de una instalación y cuya toma son transferidos y analizados en una computadora.

b) Termografía

Medición directa de la temperatura, censando la energía infrarroja emitida por los cuerpos, las cuales son proporcionales a su temperatura.

c) Efecto Joule

Energía de pérdidas debido a la resistencia según:

$$P = RI^2$$

Donde:

- P: Calor generado
- R: Resistencia
- I: Corriente

d) Emisividad

Razón de la variación infrarroja que emite un determinado material entre la Radiación infrarroja total que genera. Para el aluminio una Emisividad de 0.85.

Los objetos no son emisores perfectos de la energía infrarroja. A medida que la energía se dirige hacia la superficie, se refleja en retroceso hacia el interior y no escapa nunca, en forma de radianes.

Anexo 12. Entrevistas

De: Daniel Vaillant
Enviado: lunes, 8 de agosto de 2022 11:40
Para: Gmail
Asunto: RE: Resumen ALDO ALFARO MUNÁRRIZ

¡Ya le había preparado!
Que te parece:

1. ¿En qué medida el uso de la termografía mejorara el mantenimiento en las subestaciones AIS de alta tensión en Perú?
 1. Detección previa de un avance deterioro
 2. Detección a distancia con los equipos en servicios
 3. Con el avance de la tecnología, ahora son equipos más chiquitos, menos caro y con un nivel de precisión mucho más alto, lo que permite también tener un seguimiento del avance del fenómeno detectado.
2. ¿Qué plan de mantenimiento se debe realizar para determinar un buen diagnóstico termográfico en los equipos de patio de estas subestaciones?
 4. Es una pregunta bien amplia. Un plan de mantenimiento debe tener en cuenta todos los aspectos de las subestaciones, de la concepción, temas ambientales, con la contaminación industriales o naturales, como la sal del mar. Temperatura, terremoto y frecuencias de los temblores y las condiciones de operación. Operando con muchas maniobras, con o sin fallas, y eso desde la puesta en servicio para que se haga un seguimiento a menos anuales.
 5. También se debe prever un sistema para el archivamiento y tratamiento de las informaciones. Ya existe en la industria sistema experto que puede recibir este tipo de información.
3. En sus años de experiencia como gerente de mantenimiento, ¿Cuál ha sido la evolución de la termografía en el mantenimiento predictivo de estas subestaciones?
 1. Acá la tecnología hace que avance el acceso a las informaciones.
 2. Hace 10 años, una cámara termográfica era muy caro, frágil y de manipulación complicada. Tanto que la compra de una se veía como una inversión difícil de justificar.
 3. Hoy día es una herramienta casi común, fácil de uso y con más precisiones.
 4. Ya estamos empezando a tener cámara que pueden dar informaciones numéricas, relleno de bases de datos, comunicando con otras bases de datos y que pueden ser transportados con un dron.
 5. A hora el desafío futuro será no tanto de tener las informaciones i no de tener la capacidad de tratamiento y de pasar de tener información de data

De: jose alanoca
Enviado: martes, 9 de agosto de 2022 11:02
Para: aldopetru@gmail.com
Asunto: Re: TERMOGRAFÍA preguntas

El mar., 9 de agosto de 2022 8:25 a. m., Gmail <aldopetru@gmail.com> escribió:

Lo que puedas nada mas, gracias, te debo unas.

1. ¿Es importante la termografía en subestaciones AIS de alta tensión?

Si es importante, nos ayuda a identificar puntos calientes ya sea por mal torqueo de conectores, suciedad en el aislamiento o sobrecargas.

2¿Cómo se programan la distancia, la emisividad, humedad, antes de realizar una toma termográfica en equipos de patio?

La emisividad va depender del material al cual se quiere medir la temperatura en caso de equipos de patio, metal a la interperie es de 0.85, la humedad se consigue con un termohigrometro y la distancia depende de dónde estás tomando la foto en nuestro es de 20 metro ya que de esa distancia nos permite enfocar la totalidad del equipo

3¿A qué distancia se debe hacer las tomas en la FLIR T420?

Depende la distancia donde estás ubicado para enfocar lo que quieres medir temperatura

4¿Cuáles son la hora y condiciones de potencia nominal adecuadas a la que se debe tomar la termografía?

Considerar cuando, la hora es la máxima demanda o mayor carga del equipo a medir, evitar lluvia, nieve y humedad muy elevada esos factores climáticos afectan la medicion

5¿Qué hay que tener en cuenta para realizar un buen análisis de las tomas termográficas?

De: HERVI EDGARD GUTIERREZ VELIZ
Enviado: jueves, 11 de agosto de 2022 23:35
Para: aldopetru@gmail.com
Asunto: Re: TERMOGRAFÍA preguntas

Aldo, las respuestas en rojo, también te adjunto el instructivo para que elabores el ATS.

1. ¿Es importante la termografía en subestaciones AIS de alta tensión?.

Afirmativo, ya que es parte del mantenimiento predictivo.

1. ¿En qué medida el uso de la termografía mejorara el mantenimiento en estas subestaciones

La termografía nos ayuda a evidenciar futuras posibles fallas por puntos calientes y ahorrar costos en mantenimientos correctivos.

1. ¿Cuáles son la hora y condiciones de potencia nominal adecuadas a la que se debe tomar la termografía?

Es importante realizar la termografía cuando se tenga la mayor potencia nominal de la instalación a medir, es indiferente la hora.

1. ¿Qué debe tener en cuenta un operador para realizar un buen análisis de las tomas termográficas?

La distancia de la toma termográfica debe ser similar entre equipos a comparar, configurar el valor de la emisividad del material a medir, debemos comparar equipos con las mismas características y condiciones ambientales.

Enviado desde [Correo](#) para Windows

De: victor angel cespedes santillan
Enviado: martes, 9 de agosto de 2022 09:35
Para: aldopetru@gmail.com
Asunto: Re: TERMOGRAFÍA preguntas

1. ¿Qué hay que hacer al prender la cámara termográfica?

- Aseguramos que las baterías estén con la carga necesaria para trabajar sin inconvenientes.
- tomar medidas de los parámetros que requiere la cámara e iniciar con la configuración.
- Identificar los puntos que se requiere realizar la termografía y ubicar los mejores ángulos.

2. ¿Cómo se programan la distancia, la emisividad, humedad, antes de realizar una toma termográfica en equipos de patio?

- La programación depende de cada equipo, para determinar la distancia se usa un distanciómetro que tomara medida al punto que se requiere realizar la termografía.
- El factor de emisividad para material de equipos de Patio =0.85
- Para la humedad se hará uso de un termohigómetro el cual tomará registro en tiempo real por lo que se debe realizar la reconfiguración cada cierto intervalo de tiempo o para cada toma.

3. ¿A qué distancia se debe hacer las tomas en la FLIR T420?

- La distancia esta en referencia al mejor ángulo en que se pueda realizar la toma de la imagen termografía respetando las distancias mínimas de seguridad según el nivel de tensión de la subestación a intervenir.

4. ¿Qué rango debe tener la cámara para alta tensión en subestaciones?

5. ¿Qué EPP son los adecuados para la termografía?

- Casco, guantes, lentes, barbiquejo, ropa inifugo en subestación, zapatos dieléctricos,

6. Cuál es la hora a la que se debe tomar la termografía

- El mejor horario para realizar este tipo de pruebas es en el de mayor demanda, máxima carga, el cual pondrá a la instalación en su máxima temperatura, habitualmente noches.

7. Qué porcentaje de la potencia nominal debe usarse para la toma termográfica?

De: Williams Martin López Chávez
Enviado: domingo, 7 de agosto de 2022 13:48
Para: aldopetru@gmail.com
Asunto: Re: entrevista virtual

Hola Aldo, buenas tardes,

Respondiendo a tus preguntas:

1. ¿Qué hay que hacer al prender la cámara termográfica?

En primera instancia toda cámara termográfica debe de prenderse con el lente cubierto; luego se debe enfocar bien el objeto, después insertar la distancia, emisividad, humedad y temperatura.

2. ¿Cómo se programan la distancia, la emisividad, humedad, antes de realizar una toma termográfica en equipos de patio?

Para programar la distancia, emisividad y humedad se debe de ingresar a ajustes de cambios, después para insertar la distancia esta debe de tomarse con un equipo (distanciómetro) e insertar la distancia real al objetivo; al insertar la emisividad esta debe de ser de acuerdo con el material a medir; al insertar la humedad esta debe de medirse con un equipo (termohigrómetro) y colocar la humedad en la que se encuentra la zona donde se mide.

3. ¿A qué distancia se debe hacer las tomas en la FLIR T420?

La distancia en la que se debe de realizar las tomas depende de factores como la resolución, el campo de visión instantáneo, las lentes, el tamaño del objeto, etc.

4. ¿Qué rango debe tener la cámara para alta tensión en subestaciones?

La cámara termográfica debe de tener el siguiente rango de temperatura para medición en subestaciones de alta tensión:

Diferencia de Temperatura	Relevancia	Acción Recomendada
Menor igual a 1°C	Normal	No es necesaria ninguna actuación hasta el próximo estudio predictivo.
1°C a 4°C	Leve	Realizar un seguimiento para ver la evolución del punto caliente.
4°C a 15°C	Grave	Actuar lo antes posible, se aprovechará el corte más inmediato para corregir el problema.
Mayor a 15°C	Muy Crítica	Interrumpir el suministro eléctrico inmediatamente para corregir el problema.

5. ¿Qué EPP son los adecuados para la termografía?

Casco, cortaviento, zapatos dieléctricos, jean, camisa.

6. ¿Cuál es la hora a la que se debe tomar la termografía?

La hora en la que se debe tomar la termografía es en el rango de 18:00 a 20:00 horas donde la demanda es máxima en la hora punta.

7. ¿Qué porcentaje de la potencia nominal debe usarse para la toma termográfica?

-

Saludos.