8° CONGRESO MUNDIAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS
22° Congreso Iberoamericano de Mantenimiento
27° Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA
11 · 12 · 13 JUNIO · 2025
Centro de Convenciones Cartagena de Indias · Colombia
abraman associação brasileira de manutenção e gestão de ativos
Federación Iberoamericana de Mantenimiento
ACIEM Asociación Colombiana de Ingenieros

TERMOGRAFÍA INFRARROJA APLICADA EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS:

Casos de éxito en la detección de fallas potenciales en equipos de Alta Tensión

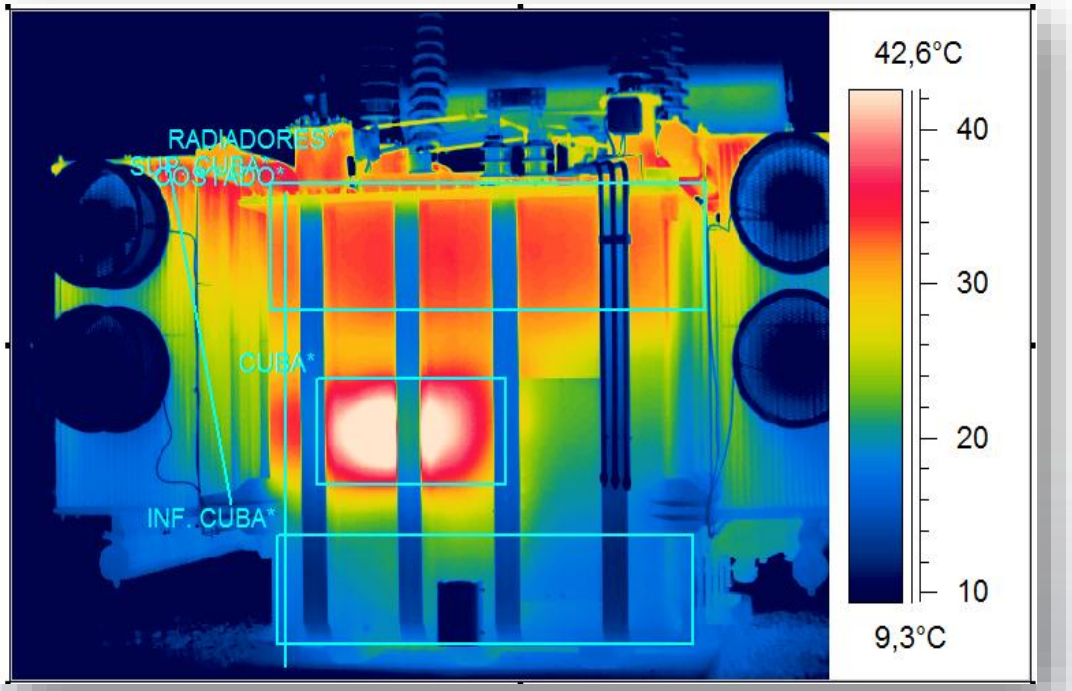
Mauricio F. Soria Ureña
BOLIVIA

ALCANCE RESUMIDO

- Gestión de activos en subestaciones eléctricas y las estrategias de mantenimiento aplicadas
- El Plan de Mantenimiento, tareas y frecuencias de ejecución
- La Termografía Infrarroja como herramienta clave para el diagnóstico de los equipos
- Criterios de Análisis y el Contexto Operacional
- Revisión de Casos de éxito

INTRODUCCIÓN

En el entorno actual, las empresas eléctricas están llamadas no solo a mantener la continuidad del servicio, sino a **maximizar la disponibilidad y Confiabilidad de la Red mediante la Gestión adecuada del valor de los activos físicos** con los menores riesgos y costos posibles. Aquí entra la importancia de las **técnicas de diagnóstico**, entre ellas, la **TERMOGRAFÍA INFRARROJA**, que se posiciona como una herramienta poderosa para anticipar fallas funcionales y tomar decisiones basadas en la condición de los equipos.



LA TERMOGRAFÍA EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS

1. Gestión de Activos (Nivel Estratégico)

Define políticas (expansión), objetivos y estrategias del negocio (Inversiones, adecuaciones, Metodologías de mantenimiento, etc.)

2. Gestión del ciclo de Vida del Activo (Nivel Táctico)

Diseñar, operar, **mantener (elaboración del Plan de Mantenimiento)** y desincorporar activos.

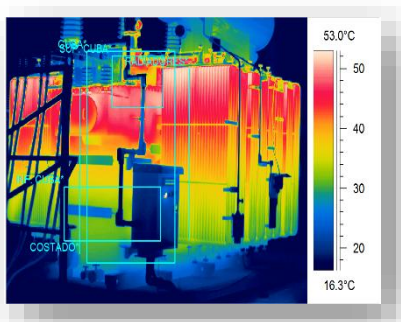
3. Gestión del Mantenimiento (Nivel Operativo)

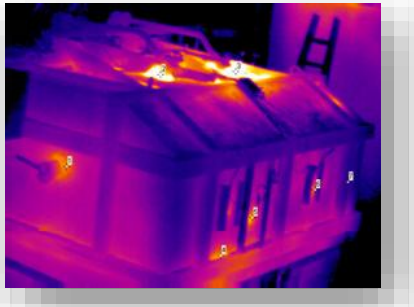
Aplicar los planes de mantenimiento con la realización de todas las tareas y en las frecuencias establecidas

BS EN 15628:2014 Maintenance – Qualification of maintenance personnel

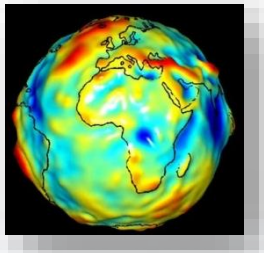
LA TERMOGRAFÍA

Es la ciencia de adquisición y análisis de la información térmica obtenida <u>mediante dispositivos especiales a distancia</u> <u>(Infrared Training Center)</u>.



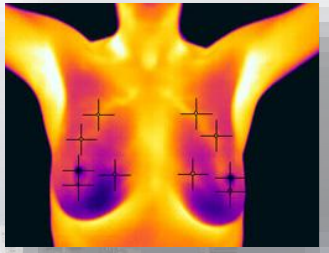


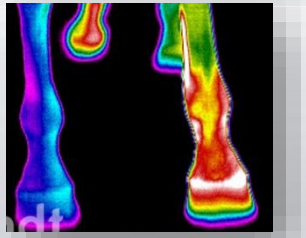
Significa "escritura con calor" y la imagen generada se denomina *termograma o imagen térmica*.



Sus principales aplicaciones son:

- **Monitorizado de procesos**
- **Investigación y desarrollo: verificación el diseño.**
- **Medicina y veterinaria**





VENTAJAS CLAVE

No interrupción del servicio

La termografía infrarroja permite realizar inspecciones a distancia y en tiempo real sin necesidad de des energizar los equipos. Esto minimiza el impacto en la continuidad del suministro eléctrico, evitando costosas interrupciones y optimizando la disponibilidad de la red.

Detección Temprana

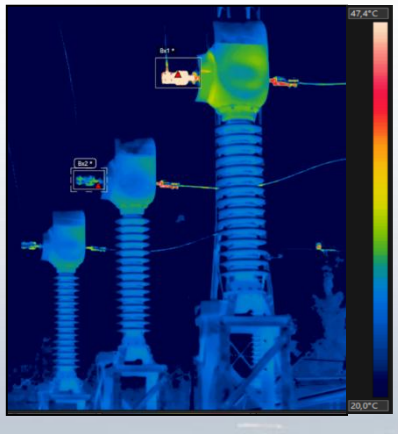
Identifica anomalías térmicas incipientes que, de otra manera, pasarían desapercibidas. Esta capacidad de diagnóstico es crucial para prevenir fallas catastróficas, reducir los costos asociados a reparaciones mayores y prolongar la vida útil de los activos.

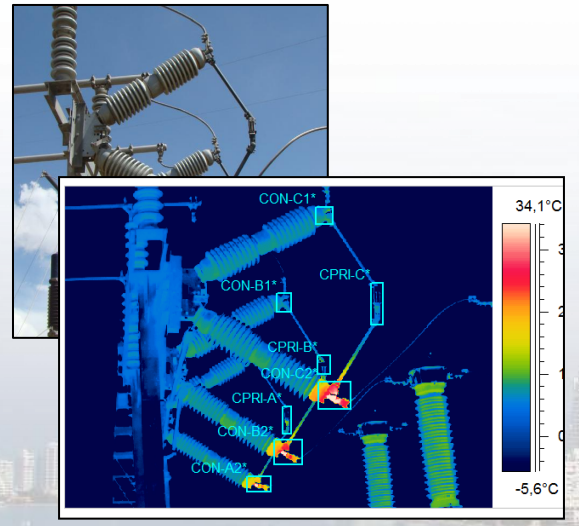
Optimización del Mantenimiento

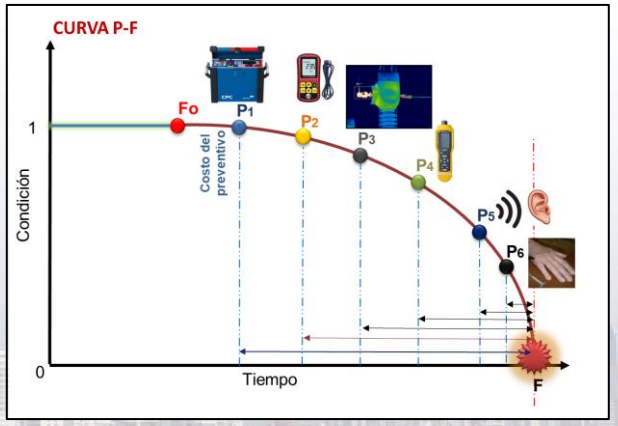
Al detectar problemas en sus etapas iniciales, se puede planificar el mantenimiento de manera proactiva, reduciendo los tiempos muertos no programados. Esto conduce a una gestión más eficiente de los recursos y una mayor fiabilidad operativa.

Mejora de la Seguridad

La identificación de puntos calientes y otras irregularidades térmicas disminuye significativamente los riesgos de incidentes graves para el personal. Al abordar las fallas antes de que escalen, se crea un entorno de trabajo más seguro y se protege la integridad de los del personal y de los equipos.

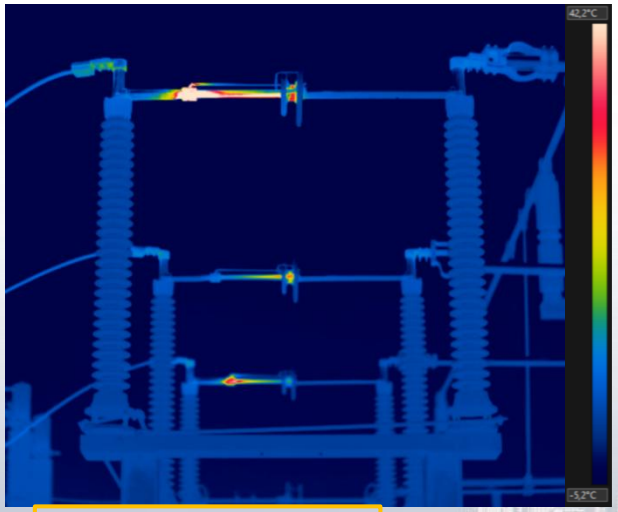






MODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

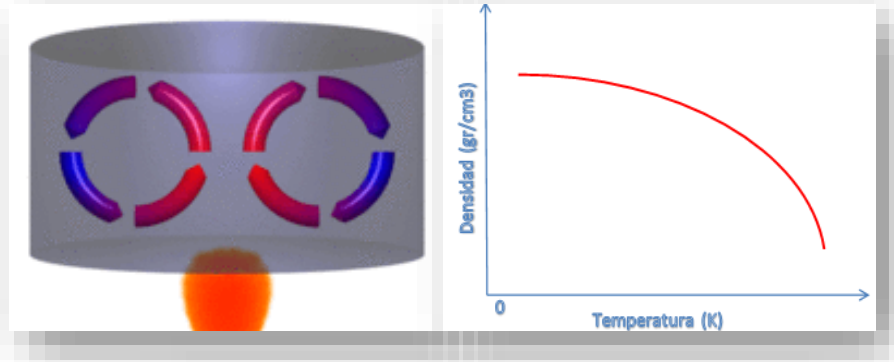
CONDUCCIÓN

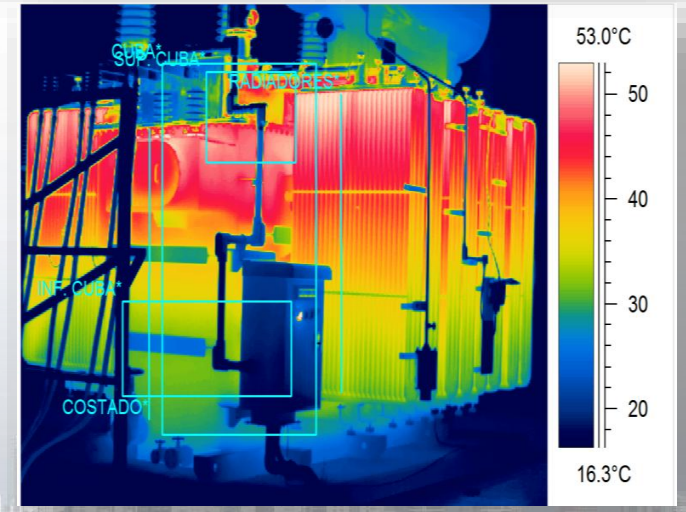


$$Q = I^2 * R * t$$

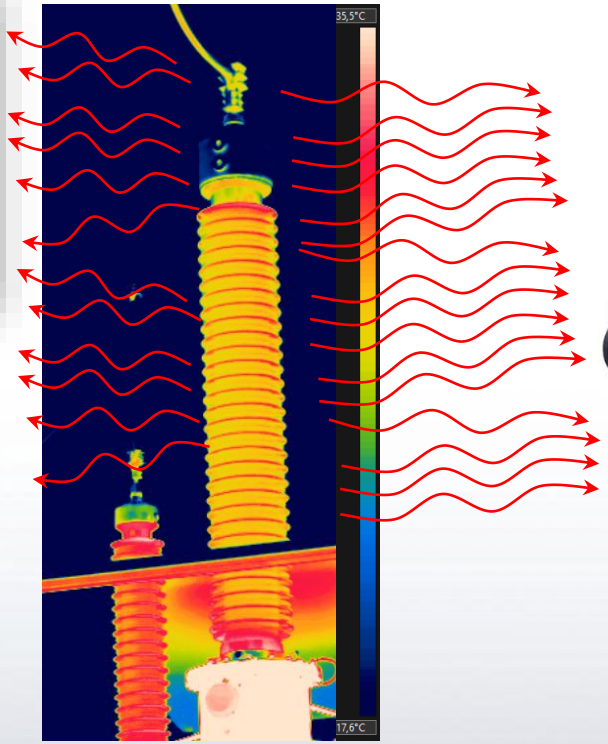
$W - s$

CONVECCIÓN





RADIACIÓN



METODOLOGÍAS DE APLICACIÓN BIEN DEFINIDAS

Selección de instrumentos

En función a la necesidad y el tipo de proceso, se deben emplear cámaras termográficas con características y capacidades de análisis específicos que permitan garantizar la captura de datos térmicos precisos y confiables, esenciales para una correcta evaluación.

Contexto Operacional y Ambiental

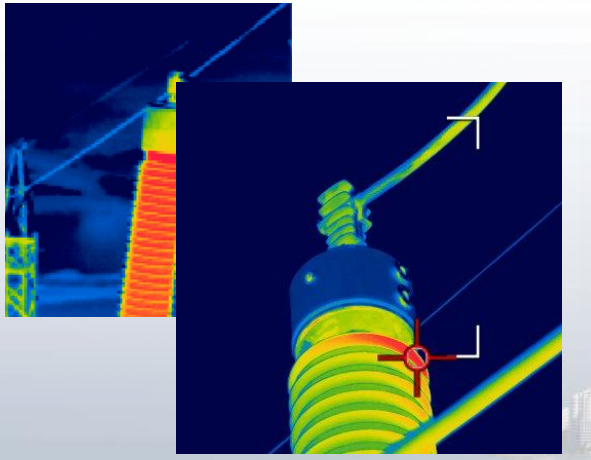
Consideramos y corregimos factores externos como la carga eléctrica, sobretensiones, temperatura ambiente, la humedad, el viento, irradiancia solar. El uso de software de compensación y la aplicación de algoritmos avanzados aseguran la precisión de las mediciones térmicas, independientemente de las condiciones externas.

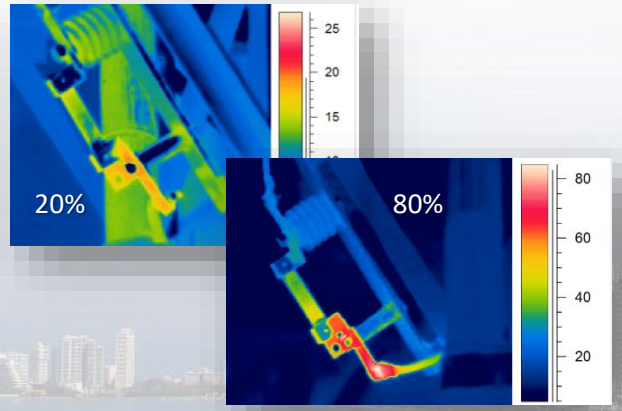
Análisis de Datos

Utilizar software especializado que permita el análisis detallado de los termogramas, incluyendo la comparación con datos históricos y la aplicación de criterios de evaluación basados en normativas internacionales (como NETA ATS, NFPA 70B, etc.). Esto permite identificar anomalías significativas y cuantificar su severidad.

Informes Detallados y Gestión de la información

Generamos informes que incluyen termogramas, fotografías visuales, análisis de temperatura, criterios de severidad, causas probables y recomendaciones claras para el mantenimiento. Estos informes sirven como herramientas clave para la toma de decisiones y la planificación de acciones correctivas. Toda la información debe estar registrada en la base de datos para comparaciones y evaluaciones futuras





ENDE

FICHA DE INSPECCIÓN TERMOGRAFICA PARA SECCIONADORES

EXPERIENCIA ENDE TRANSMISIÓN S.A.				
DIFERENCIA ENTRE FASES				
CONECTORES - PALETAS			AISLADOR - TANQUE	
SOSPECHA	URGENCIA	EMERGENCIA	SERIA	CRÍTICA
5 °C a 10 °C	10 °C a 20 °C	Mayor a 20 °C	2 °C a 5 °C	Mayor a 5 °C

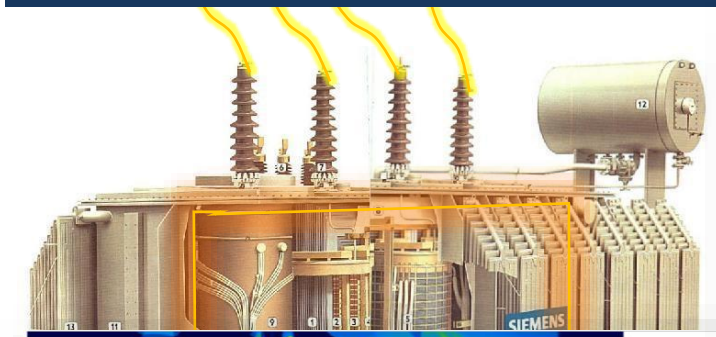
ANSI NETA MTS-2011			
Diferencia de temperatura (T) basada en comparaciones entre componentes similares bajo carga similar	Diferencia de temperatura (T) basada en comparaciones entre componentes y temperaturas del aire ambiente	Diagnóstico	Acción recomendada
1 °C a 3°C	1 °C a 10 °C	Sospecha de falla	Ordene el seguimiento e investigación
4 °C a 15 °C	11 °C a 20 °C	Falla probable	Reparar según lo permita el tiempo
------	21 °C a 40 °C	Falla a ocurrir	Monitoreo hasta que se puedan lograr las medidas correctivas
> 15 °C	> 40 °C	Falla inminente	Reparación inmediata

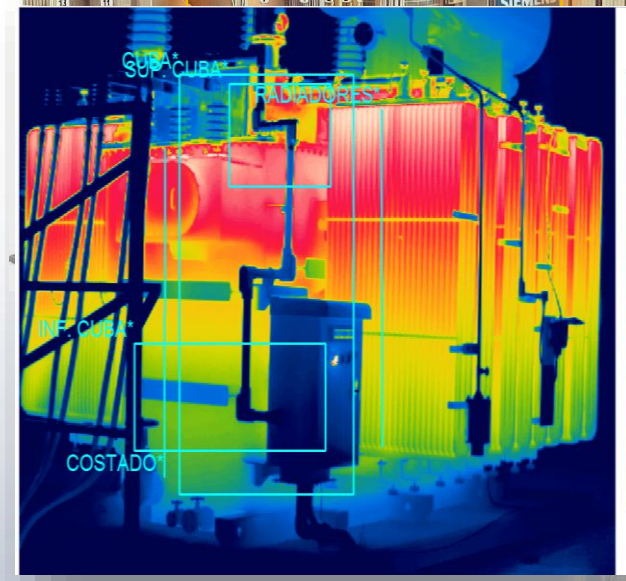
DIAGNOSTICO

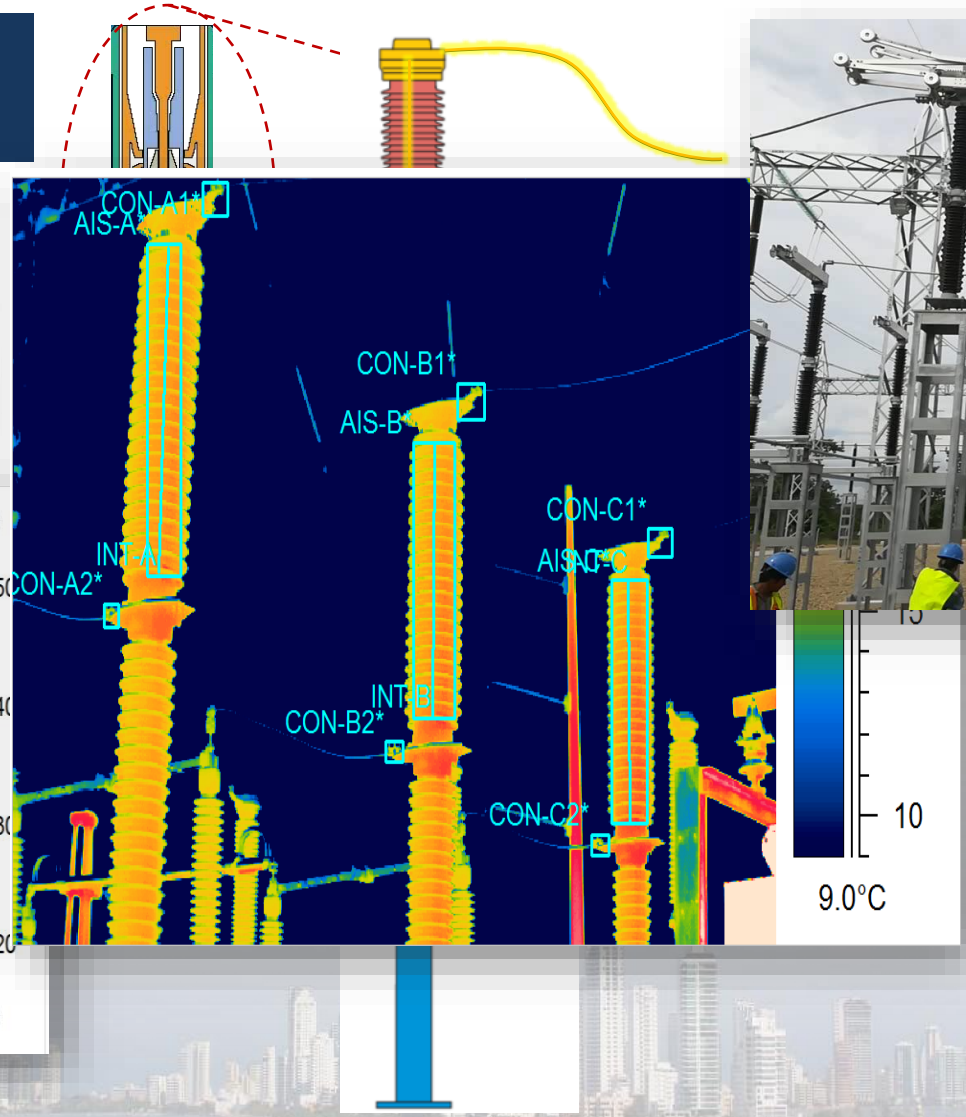
Punto caliente en condicion de EMERGENCIA en conector inferior de la Fase A.

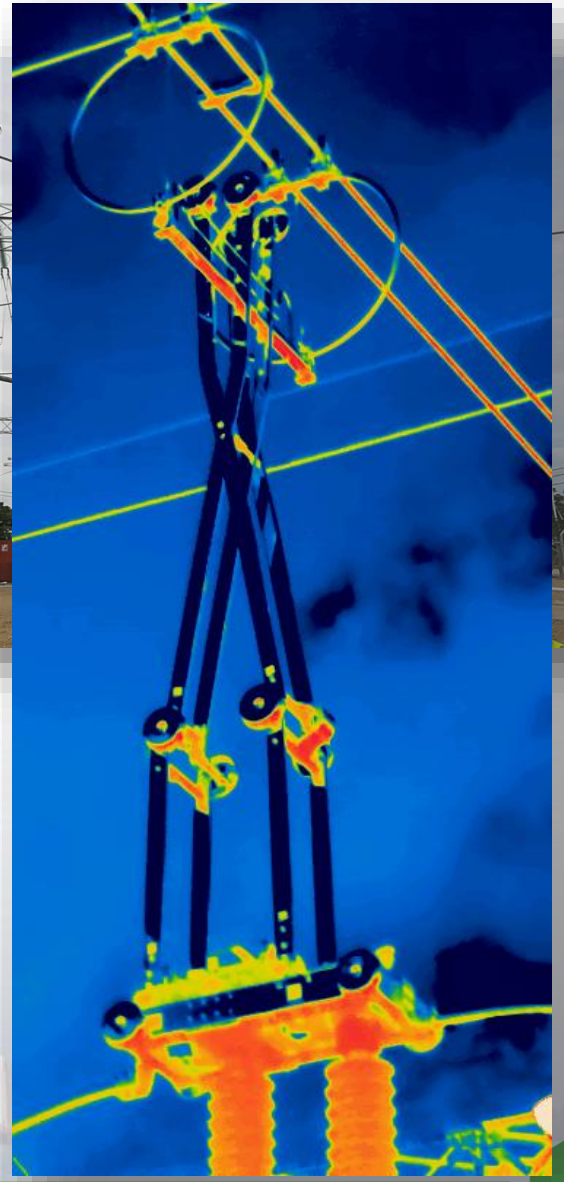
METODOLOGÍAS DE APLICACIÓN BIEN DEFINIDAS

Dominio de conocimientos – Función de los Activos y su comportamiento térmico

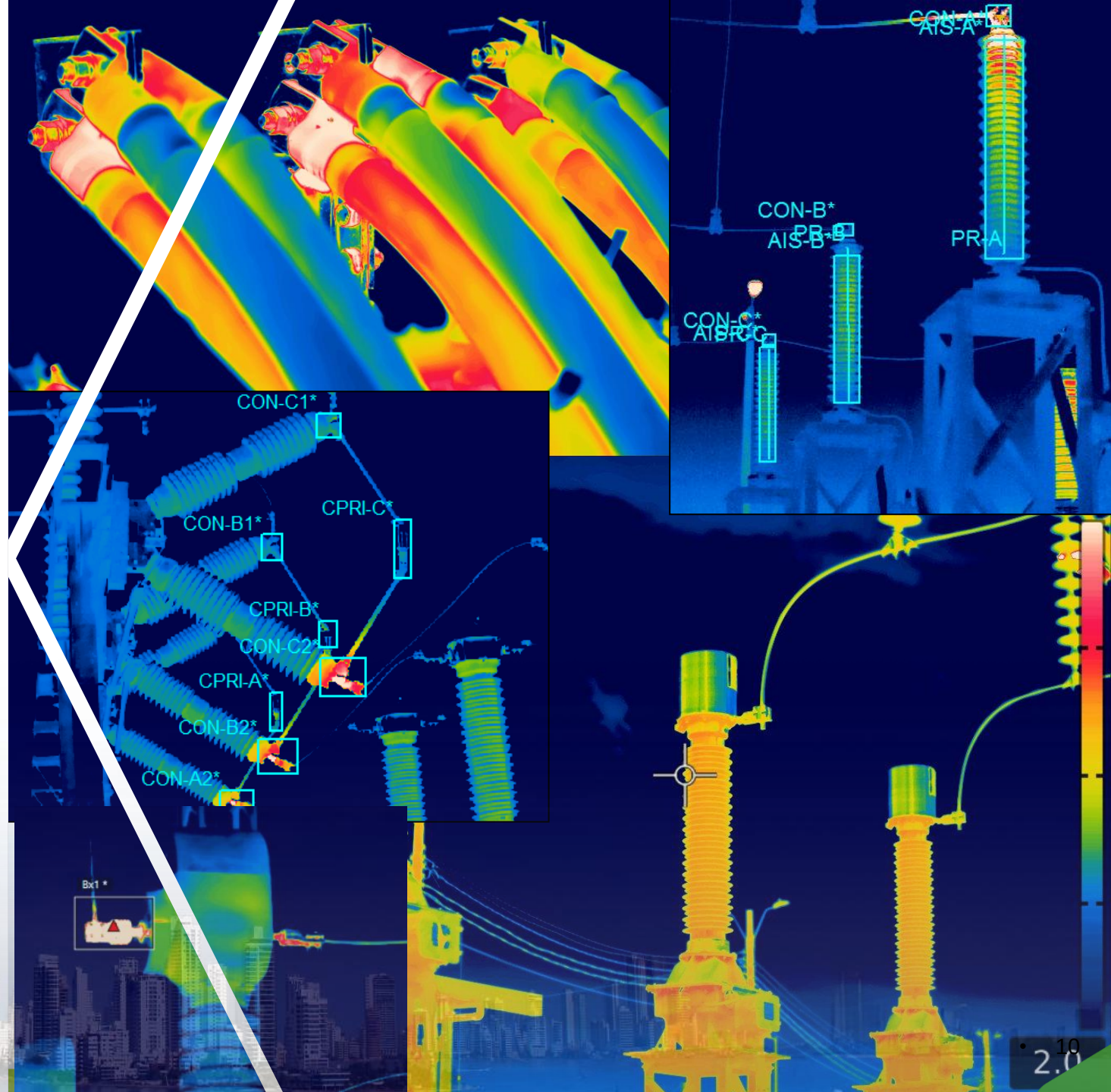








CASOS DE ÉXITO



CASO 1. TRANSFORMADOR DE POTENCIA 115/69 KV 40 MVA (SERVICIOS A TERCEROS)

Modo de falla identificado: Calentamiento interno en el tanque ocasionado probablemente por circulación de corrientes de dispersión.

Causa: Aleatorio - Falta de Blindaje electromagnético en las paredes del mismo (equipo con más de 30 años de operación)

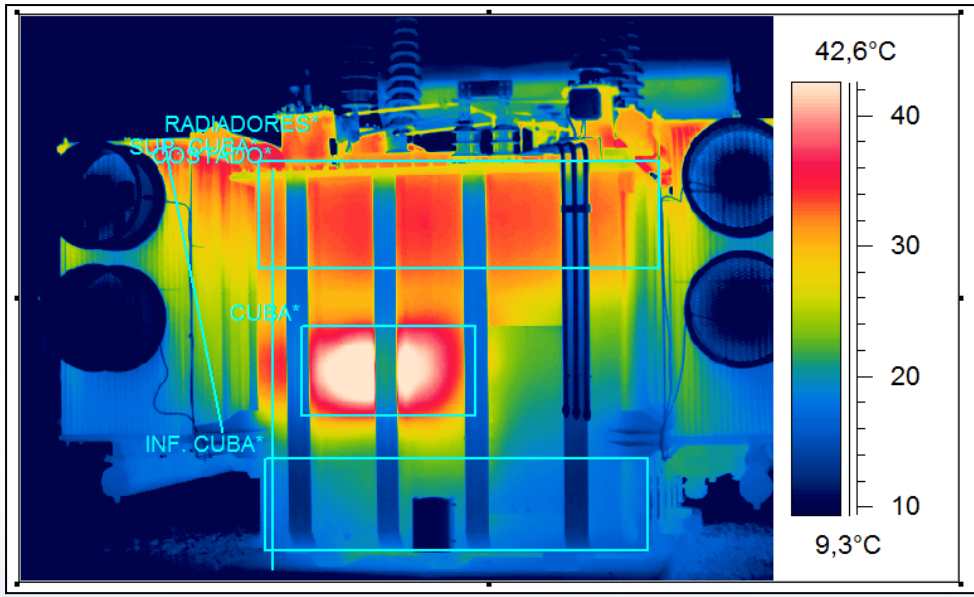


TABLA DE TEMPERATURAS MAXIMAS

ITEM	Valor
Cuba	30,8°C
Radiador	31,9°C
Superior Cuba	32,8°C
Inferior Cuba	21,8°C
Media Cuba	30,9°C

CONDICIONES:
Carga eléctrica: 85%
Velocidad del viento: 1 m/s
Temperatura ambiente: 18°C
Distancia al objeto: 7m

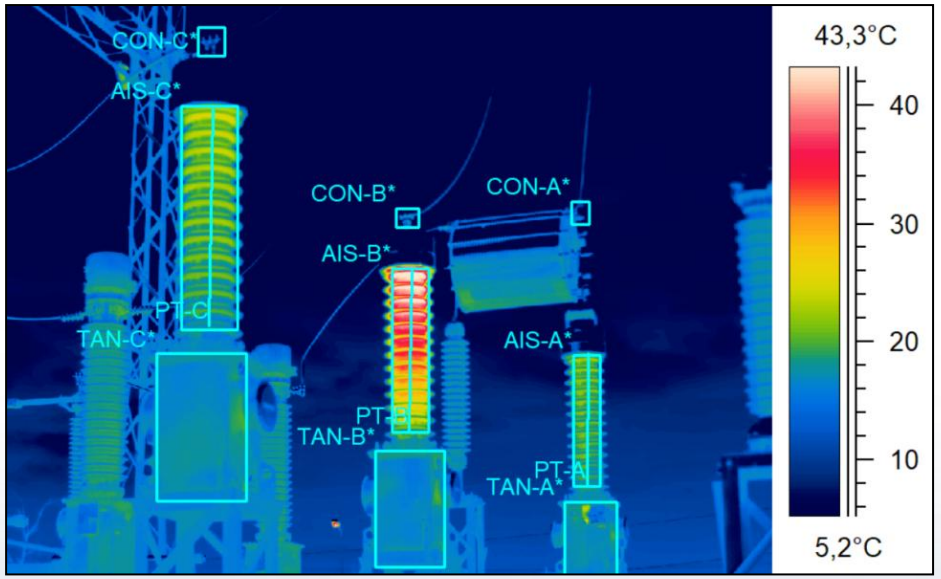
Solución implementada: Seguimiento con AGD del aceite e inspecciones termográficas programadas.

Resultados obtenidos: El Cliente indicó que la condición no ha manifestado evolución en los valores medidos del seguimiento recomendado.

CASO 2. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPACITIVO 145 KV

Modo de falla identificado: Calentamiento del aislador donde se encuentran los divisores capacitivos de Alta Tensión.

Causa: Aleatorio – Falla en aislamiento de los divisores capacitivos por envejecimiento natural (Fin de la vida útil- Equipos con más de 30 años de operación) que provoca mayor corriente de fuga



CONDICIONES:
Velocidad del viento: 3 m/s
Temperatura ambiente: 20°C
Distancia al objeto: 8m

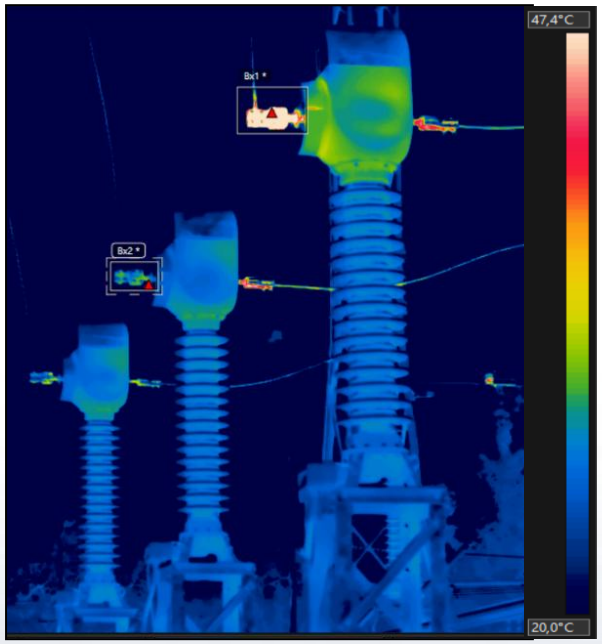
Solución implementada: Al tratarse de una falla en componentes no reparables, se realizó el reemplazo inmediato de los equipos observados y elaboró la planificación para el reemplazo de equipos similares (considerando marca, modelo y tiempo de operación).

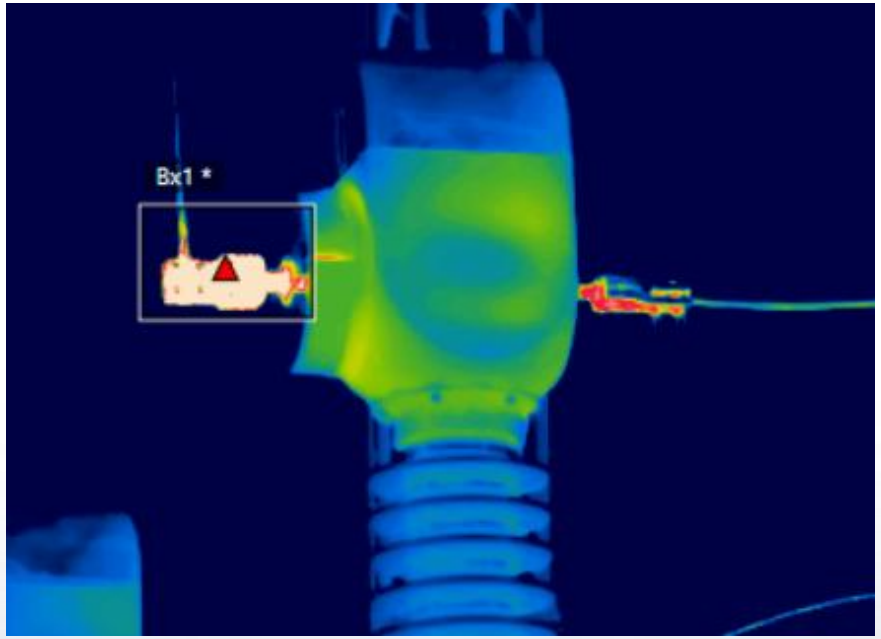
Resultados obtenidos: .Se asegura la confiabilidad y disponibilidad del sistema al tener equipos nuevos que cumplen con la función requerida.

CASO 3. TRANSFORMADORES DE CORRIENTE 145 KV

Modo de falla identificado: Calentamiento en conector de Alta Tensión

Causa: Fabricación/Instalación – Falta de ajuste de pernos durante la etapa de construcción del proyecto. Riesgo de soltura del cable y consiguiente arco eléctrico.





CONDICIONES:
Carga eléctrica: 100%
Velocidad del viento: 2 m/s
Temperatura ambiente: 15°C
Distancia al objeto: 5m

Solución implementada: A partir de la des energización de los equipos, se realizó la limpieza y ajuste adecuado de todas las conexiones de potencia.

Resultados obtenidos: .En la siguiente inspección termográfica programada ya no se encontraron anomalías por puntos calientes.

CASO 4. SECCIONADOR TRIPOLAR 145 KV (SERVICIOS A TERCEROS)

Modo de falla identificado: Calentamiento en conectores inferiores de Alta Tensión

Causa: Operación/Mantenimiento– Pérdida de presión de contacto entre los contactos móvil y fijo inferiores del seccionador.

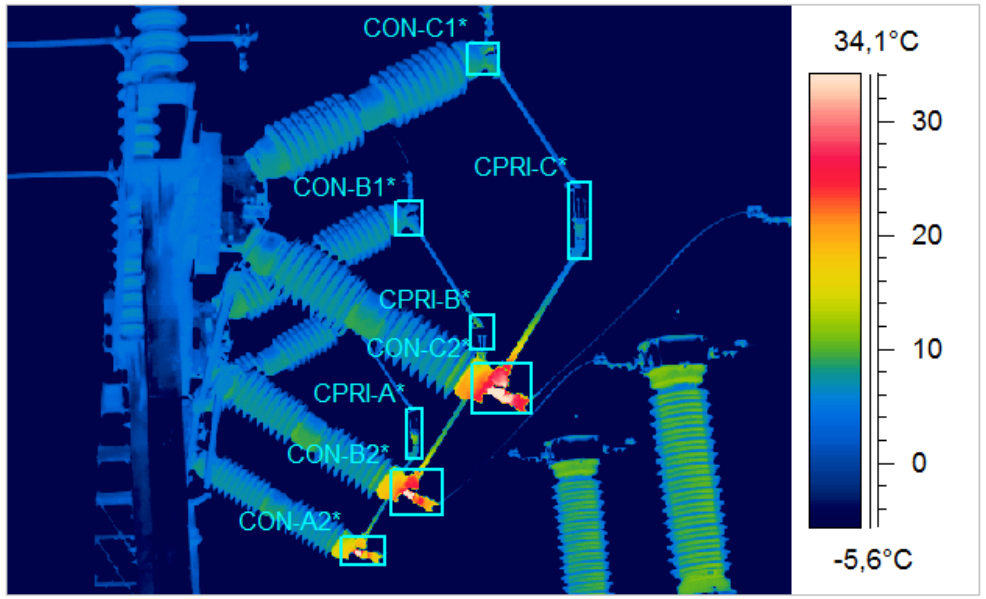


TABLA DE TEMPERATURAS MAXIMAS

ITEM	Conec. 1	Conec. 2	Con.Princ	Dif.C1-
Fase A	-	55,0°C	14,7°C	*
Fase B	5,3°C	68,6°C	9,1°C	-63,3°C
Fase C	10,5°C	98,3°C	5,0°C	-87,9°C
Dif. A-B	*	-13,6°C	5,6°C	NA
Dif. B-C	-5,1°C	-29,7°C	4,1°C	NA
Dif. C-A	*	43,4°C	-9,7°C	NA

CONDICIONES:
Carga eléctrica: 100%
Velocidad del viento: 2 m/s
Temperatura ambiente: 15°C
Distancia al objeto: 5m

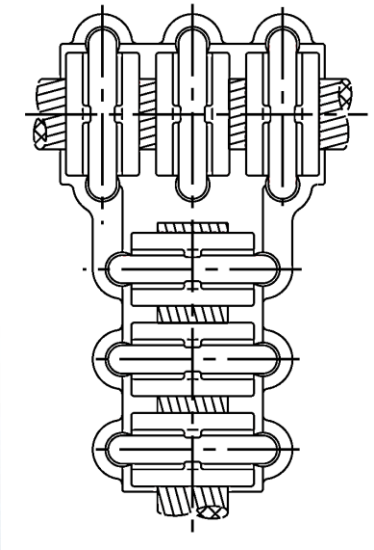
Solución implementada: Se recomendó al cliente la intervención donde debía realizar limpieza, ajuste y lubricación de todos los contactos fijos y móviles (superiores e inferiores) del seccionador tripolar.

Resultados obtenidos: .En la siguiente inspección termográfica programada ya no se encontraron anomalías por puntos calientes.

CASO 5. CONECTOR DE ALUMINIO TIPO "T" PARA LÍNEA DE 115 KV

Modo de falla identificado: Calentamiento en conector de aluminio tipo "T" en línea de Alta Tensión, bajante a transformador de corriente

Causa: Operación/Mantenimiento– Error en ajuste de pernos de acero inoxidable.



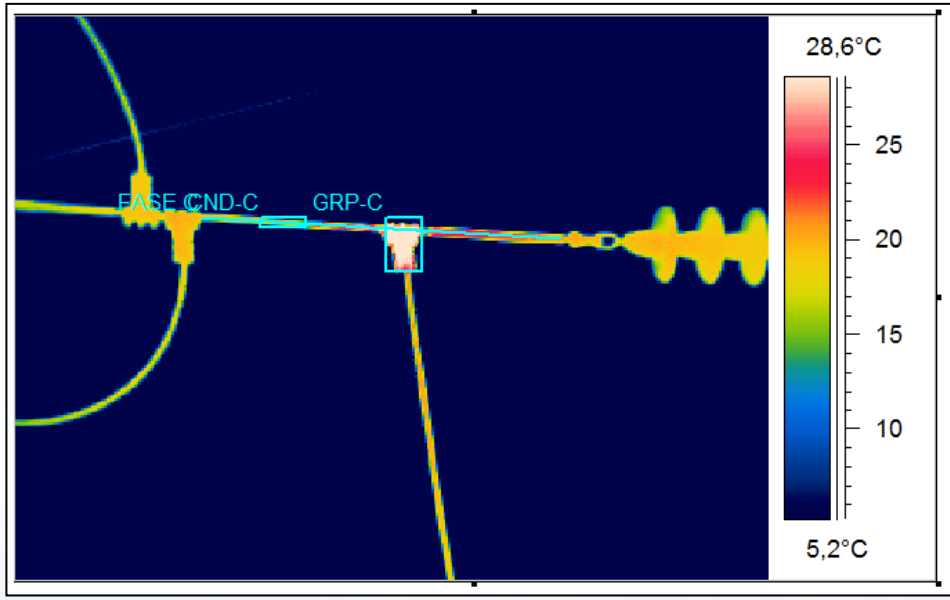


TABLA DE TEMPERATURAS MAXIMAS

ITEM	Cond.	Empalme	Grapa	Dif.Con-
Fase A	-	-	-	*
Fase B	-	-	-	*
Fase C	21,7°C	-	34,8°C	*
Dif. A-B	*	*	*	NA
Dif. B-C	*	*	*	NA
Dif. C-A	*	*	*	NA

!RIESGO DE CIRCUITO ABIERTO!

CONDICIONES:
Carga eléctrica: 70%
Velocidad del viento: 4 m/s
Temperatura ambiente: 20°C
Distancia al objeto: 12m

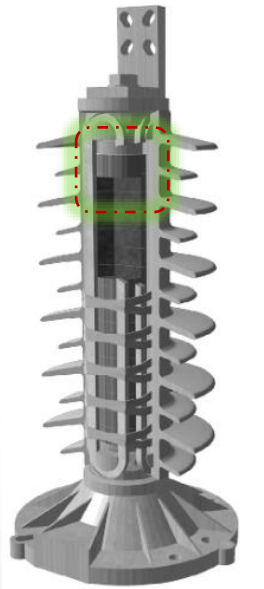
Solución implementada: De forma inmediata se gestionó la des energización de la línea y se procedió a la corrección, se encontraron dos pernos de acero inoxidable encallados y con falta de ajuste. Se realizó la limpieza del conector y el reemplazo de los pernos inox por pernos galvanizados en caliente (manteniendo el grado de dureza requerido).

Resultados obtenidos: .En la siguiente inspección termográfica programada ya no se encontraron anomalías por puntos calientes.

CASO 6. DESCARGADOR DE SOBRETENSIÓN 115 KV

Modo de falla identificado: Calentamiento en conector y parte superior del descargador de Alta Tensión. Equipo con menos de 2 años de operación.

Causa: Fabricación/Instalación– Falla en material e ingreso de humedad por la válvula superior del descargador.



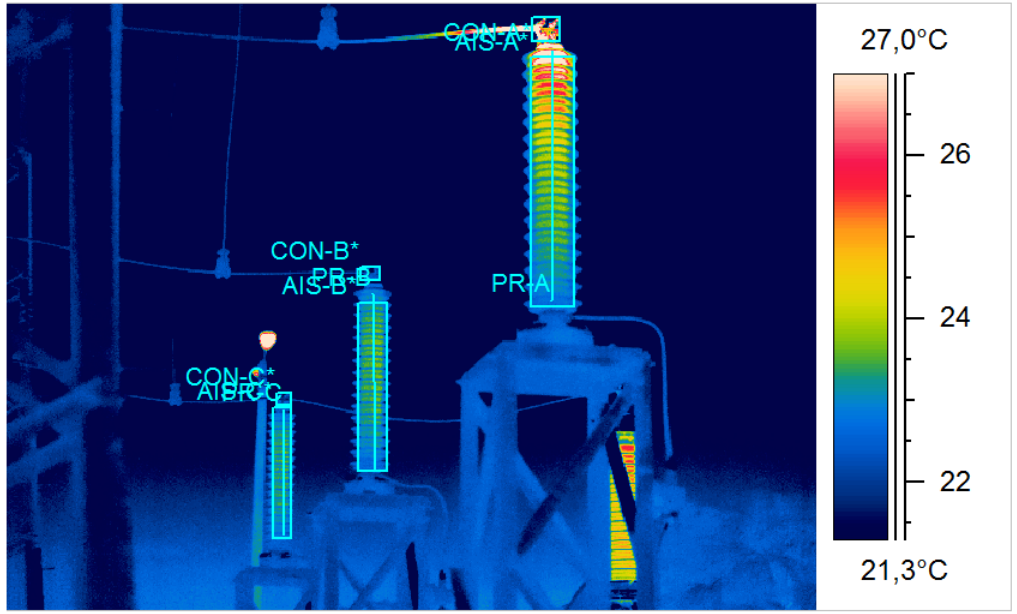


TABLA DE TEMPERATURAS MAXIMAS

ITEM	Conector	Aislante
Fase A	58,5°C	28,7°C
Fase B	18,3°C	23,9°C
Fase C	18,3°C	23,9°C
Dif. A -B	40,2°C	4,8°C
Dif. B - C	-0,0°C	0,1°C
Dif. C - A	-40,2°C	-4,8°C

CONDICIONES:
Velocidad del viento: 2m/s
Temperatura ambiente: 27°C
Distancia al objeto: 6m

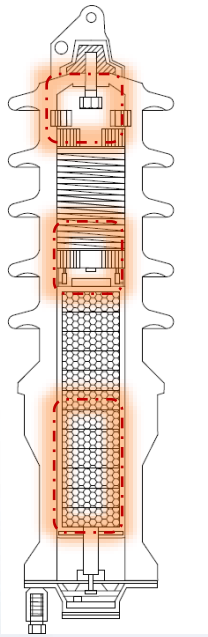
Solución implementada: Al tratarse de una falla en componentes no reparables, se realizó el reemplazo inmediato del equipo observado y se realizó un monitoreo continuo de equipos del mismo lote de suministro sin encontrarse más observaciones.

Resultados obtenidos: En la siguiente inspección termográfica programada ya no se encontraron anomalías.

CASO 7. DESCARGADOR DE SOBRETENSIÓN 115 KV (SERVICIOS A TERCEROS)

Modo de falla identificado: Calentamiento interno en cuerpos de descargadores de Alta Tensión. Equipos con más de 20 años de operación.

Causa: Aleatorio– deterioro de los varistores de carburo de silicio por envejecimiento natural (Fin de la vida útil) que provoca mayor corriente de fuga.



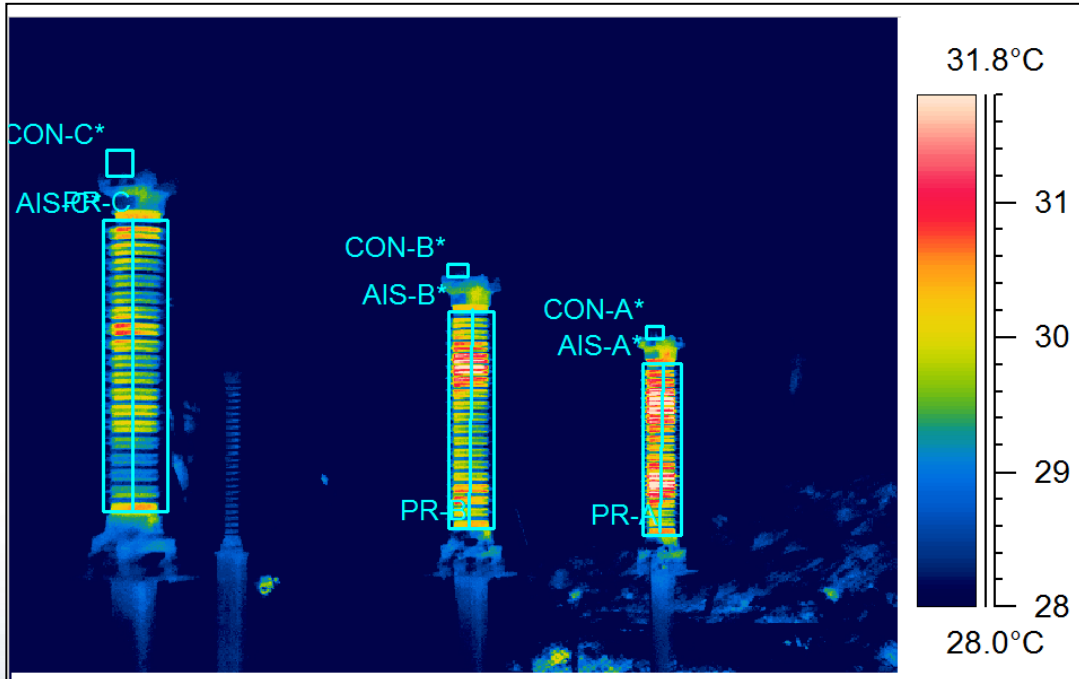


TABLA DE TEMPERATURAS MAXIMAS

ITEM	Conector	Aislante
Fase A	31.0°C	33.1°C
Fase B	30.1°C	32.3°C
Fase C	29.4°C	31.0°C
Dif. A -B	0.9°C	0.8°C
Dif. B - C	0.7°C	1.3°C
Dif. C - A	-1.6°C	-2.0°C

CONDICIONES:
Velocidad del viento: 1m/s
Temperatura ambiente: 25°C
Distancia al objeto: 8m

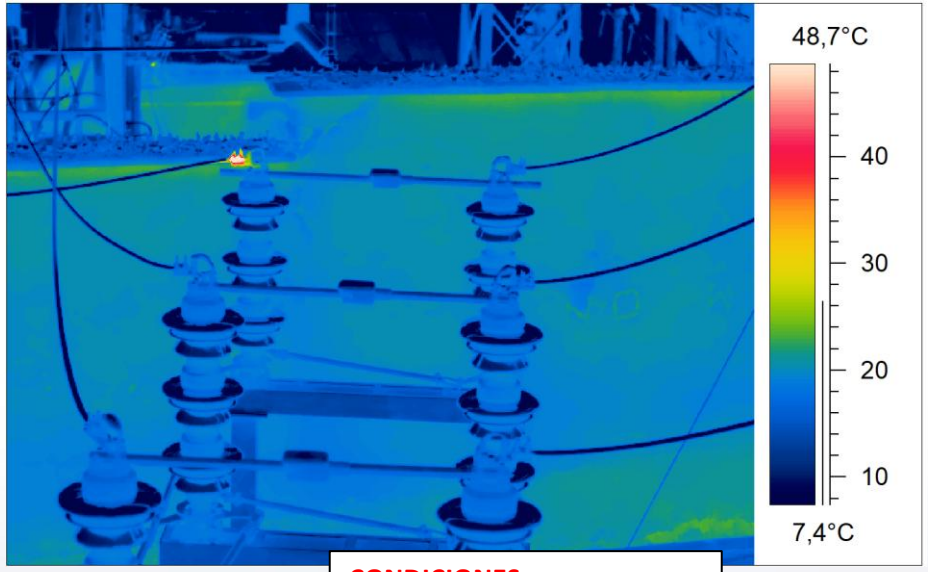
Solución implementada: Al tratarse de una falla en componentes no reparables, se realizó el reemplazo inmediato de los equipos observados.

Resultados obtenidos: En la siguiente inspección termográfica programada ya no se encontraron anomalías de los equipos nuevos.

CASO 8. SECCIONADOR TRIPOLAR 69 KV

Modo de falla identificado: Calentamiento en conector de Alta Tensión. Equipo con más de 30 años de operación.

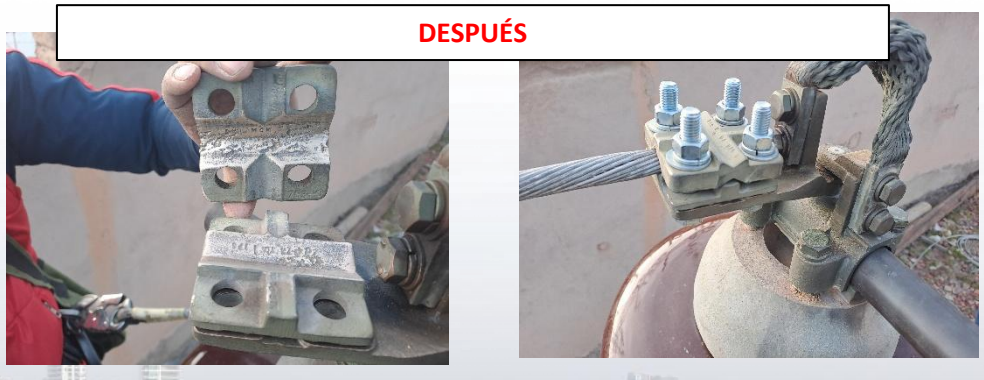
Causa: Operación/Mantenimiento – Ajuste excesivo del conector que ha provocado daño en el conductor posterior a los trabajos de pruebas/lubricación/calibración.



CONDICIONES:
Velocidad del viento: 3m/s
Temperatura ambiente: 18°C
Distancia al objeto: 8m

ANTES

DESPUÉS



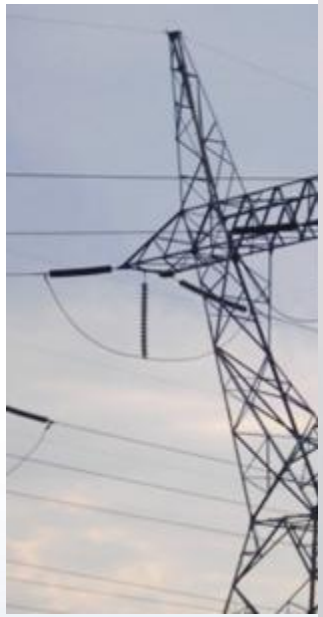
Solución implementada: Revisión y limpieza de todos los conectores, reemplazo del conductor comprometido.

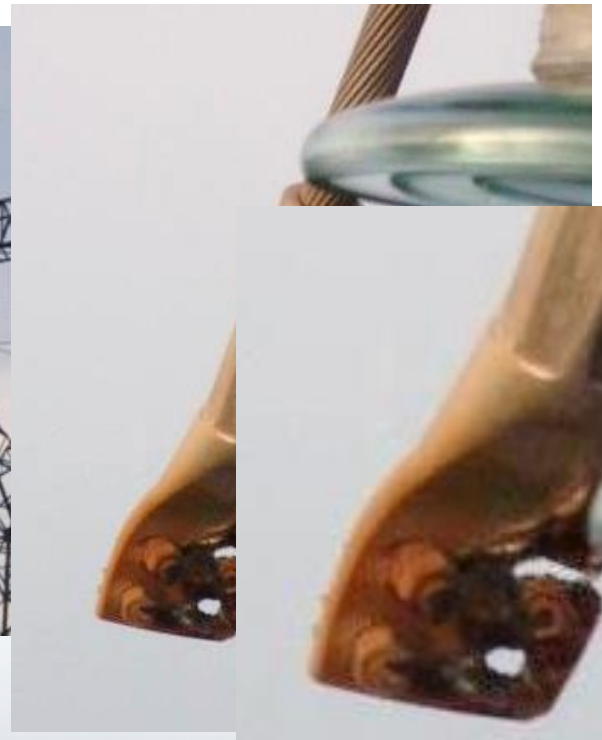
Resultados obtenidos: En la siguiente inspección termográfica programada ya no se encontraron anomalías.

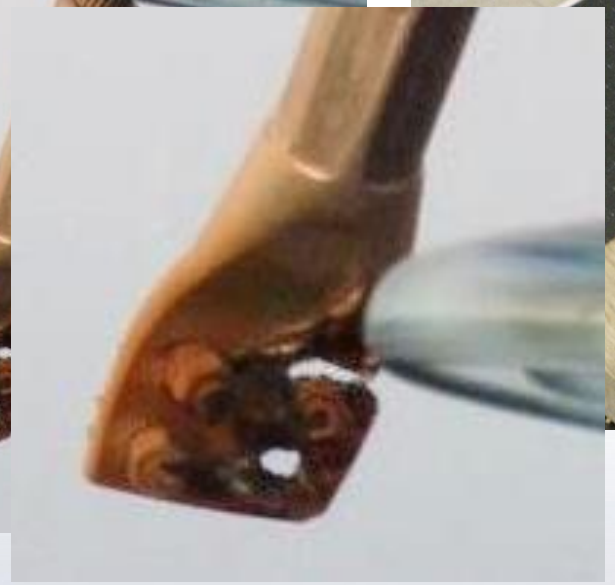
CASO 9. TERMINALES DE COMPRESIÓN PARA LÍNEAS DE 230 KV

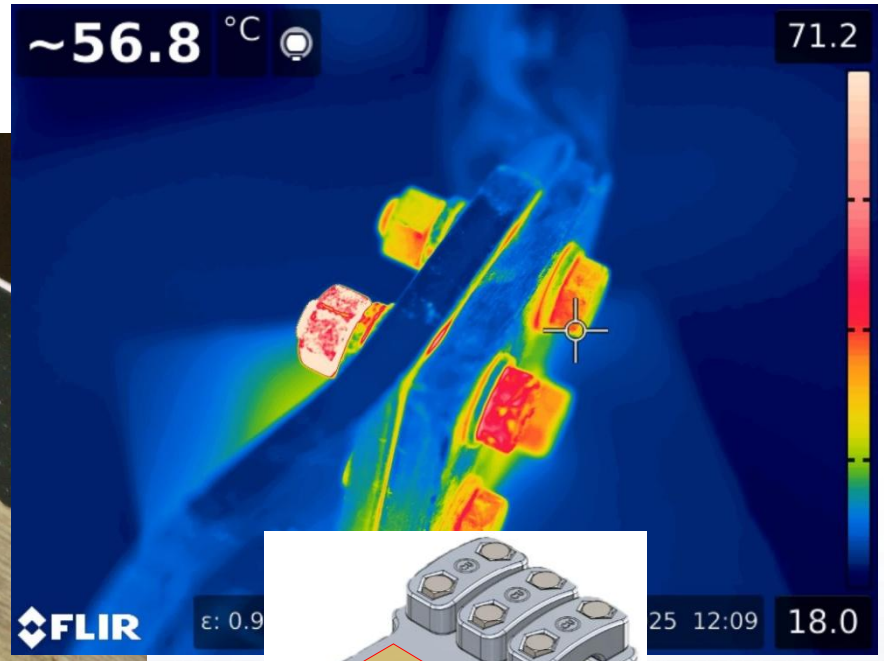
Modo de falla identificado: Desconexión intempestiva de la línea de 230 kV. Línea de transmisión con menos de 2 años de operación.

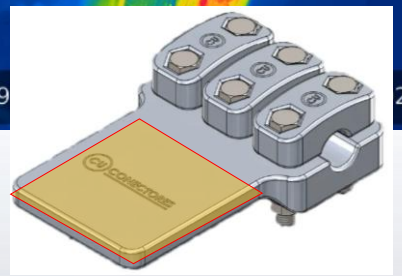
Causa: Fabricación/Instalación – Mala calidad del conector, falta de área de contacto.











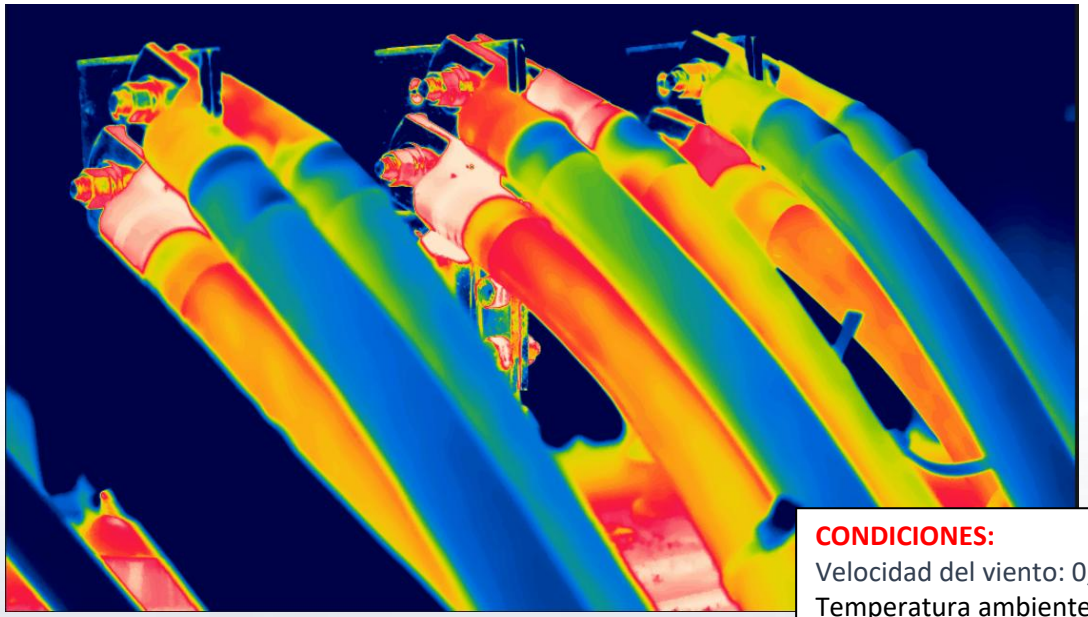
Solución implementada: Inspecciones termográficas de todas las líneas de transmisión, reemplazo de todas terminales observadas, mejora de las especificaciones técnicas, identificación de todos los lotes de terminales de repuesto que llegaron para el proyecto para su devolución al proveedor.

Resultados obtenidos: En las siguientes inspecciones ya no se encontraron anomalías.

CASO 10 . ALIMENTADORES DE BAJA TENSIÓN 380 Vac (SERVICIOS A TERCEROS)

Modo de falla identificado: Calentamiento en conector y cables de Baja Tensión.

Causa: Fabricación/Instalación– Diferencia de longitud en conductores de la misma fase lo que provoca variación de la resistencia óhmica del circuito, por lo tanto, “los cables más cortos” transportan más corriente



CONDICIONES:
Velocidad del viento: 0,5m/s
Temperatura ambiente: 25°C
Distancia al objeto: 2m

Solución implementada: Se recomendó al Cliente revisar y corregir la longitud de los conductores.

Resultados obtenidos: En la siguiente inspección termográfica se verificará los resultados.

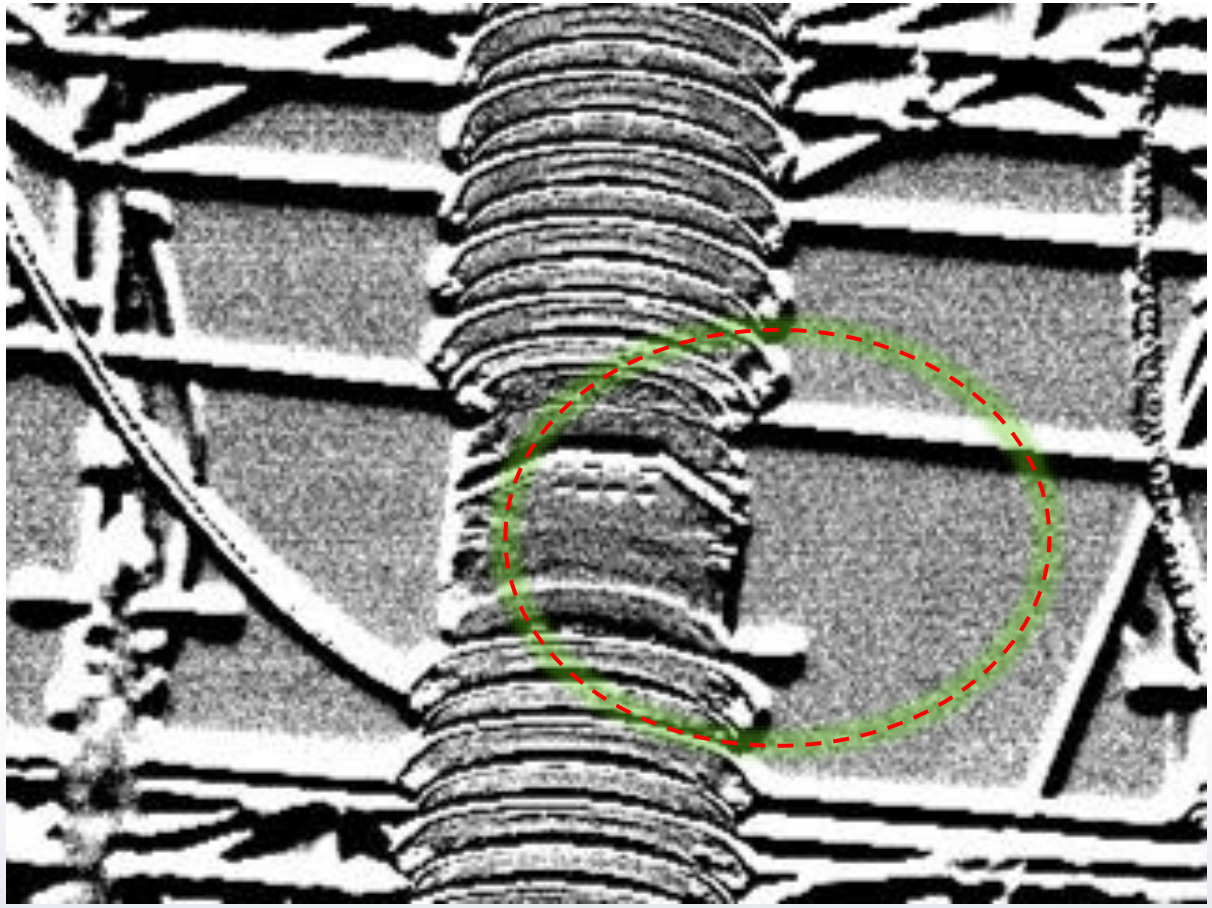
CASO 11. INTERRUPTOR 145 KV – AISLAMIENTO EN SF6

DATOS INICIALES	
TENSIÓN DE OPERACIÓN MÁXIMA DEL EQUIPO	170 KV
TIPO	TANQUE VIVO - UNA CAMARA DE CORTE
PRESIÓN NOMINAL DE GAS SF6	6 Bar
ANTECEDENTES	
Señal de alarma por baja presión de gas, el personal procede a verificar el funcionamiento del manodensostato y descarta el mismo	
TÉCNICA UTILIZADA	
Localización de la fuga de gas mediante inspección termográfica	
PUNTO DE FALLA LOCALIZADO	
JUNTA O-RING ASOCIADO A LA TAPA SUPERIOR DEL POLO	

Resultado final: Debido a las condiciones climáticas, se procedió al reemplazo de todo el polo, el componente observado fue reparado en taller, ahora el equipo se encuentra disponible.

CASO 12. INTERRUPTOR 36 KV – AISLAMIENTO EN SF6

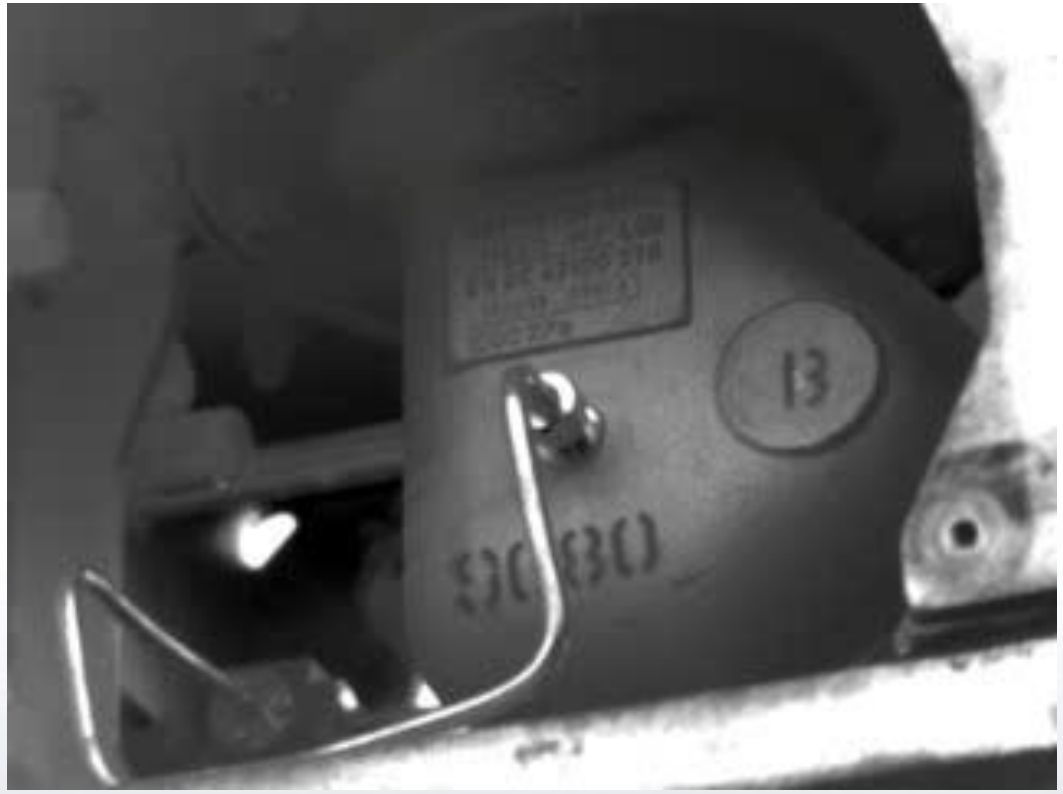
DATOS INICIALES	
TENSIÓN DE OPERACIÓN MÁXIMA DEL EQUIPO	36 KV
TIPO	TANQUE VIVO - UNA CAMARA DE CORTE
PRESIÓN NOMINAL DE GAS SF6	5 Bar
ANTECEDENTES	
El cliente solicita inspección termográfica debido a la presencia de alarma por baja presión de gas.	
TÉCNICA UTILIZADA	
Localización de la fuga de gas mediante inspección termográfica	
PUNTO DE FALLA LOCALIZADO	
EN LOS SELLOS ASOCIADOS ENTRE LA CAMARA DE CORTE Y EL AISLADOR SOPORTE	



Resultado final: **El servicio al ser acompañado por un Supervisor del cliente, éste es informado de la localización de la fuga. El cliente procederá al mantenimiento correctivo.**

CASO 13. INTERRUPTOR 245 KV – AISLAMIENTO EN SF6

DATOS INICIALES	
TENSIÓN DE OPERACIÓN MÁXIMA DEL EQUIPO	420 KV
TIPO	TANQUE VIVO - DOBLE CÁMARA DE CORTE
PRESIÓN NOMINAL DE GAS SF6	7 Bar
ANTECEDENTES	
SEÑAL DE ALARMA OPR BAJA PRESIÓN DE GAS SF6, PERSONAL SE DIRIGE A SITIO Y COMIENZA LA INSPECCIÓN	
TÉCNICA UTILIZADA	
Localización de la fuga de gas mediante inspección termográfica	
PUNTO DE FALLA LOCALIZADO	
SELLO O-RING DE LA VALVULA DE CONEXIÓN DE GAS HACIA EL MANODENSOSTATO	



CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS

- ✓ La termografía infrarroja se consolida como una herramienta indispensable en la gestión de activos de subestaciones eléctricas. Su capacidad para detectar fallas potenciales y prevenir la ocurrencia de fallas Funcionales la convierte en un pilar fundamental para la confiabilidad de las redes eléctricas y su eficiencia operativa.

- ✓ Es importante que las empresas inviertan en la capacitación y certificación del personal en termografía así mismo, en la adquisición de instrumentos que se adecúen a las características del proceso. Un equipo bien entrenado asegura la correcta aplicación de la técnica y la interpretación precisa de los resultados.

- ✓ La termografía es un campo en constante evolución por lo que, se deben explorar oportunidades para integrar tecnologías emergentes, como drones para inspecciones en altura o análisis de datos asistido por inteligencia artificial, para optimizar aún más las operaciones.

GRACIAS

POR SU ATENCIÓN

mauriciofernandosoria@gmail.com