



TERMOGRAFÍA EN EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS INSTALADOS EN  
SUBESTACIONES DE POTENCIA CONVENCIONALES

VERONICA BOSSIO ARANGO  
ALVARO ENRIQUE RUIZ REYES

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y ELECTRICA  
CARTAGENA D. H. T. Y C.

2008



TERMOGRAFÍA EN EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS INSTALADOS EN  
SUBESTACIONES DE POTENCIA CONVENCIONALES

VERONICA BOSSIO ARANGO  
ALVARO ENRIQUE RUIZ REYES

Monografía presentada como requisito para optar al título de Ingeniero Electricista

DIRECTOR  
**ENRIQUE VANEGAS**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA  
CARTAGENA D. H. T. Y C.

2008

Cartagena, 15 de enero del 2007

**Señores**

**Comité curricular de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.**

**Universidad Tecnológica de Bolívar**

**Ciudad**

Respetados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que la monografía titulada “TERMOGRAFÍA EN EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS INSTALADOS EN SUBESTACIONES DE POTENCIA CONVENCIONALES” ha sido desarrollada de acuerdo a los objetivos establecidos.

Como autores de la monografía consideramos que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente,

---

VERONICA BOSSIO ARANGO

Cartagena 22 de Febrero de 2008

---

ALVARO E. RUIZ REYES

**Señores**

**Comité curricular de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.**

**Universidad Tecnológica de Bolívar**

**Ciudad**

Respetados señores:

Cordialmente me permito informarles, que he llevado a cabo la dirección del trabajo de grado de los estudiantes Verónica Bossio Arango y Álvaro Enrique Ruiz Reyes, titulado TERMOGRAFÍA EN EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS INSTALADOS EN SUBESTACIONES DE POTENCIA CONVENCIONALES

Atentamente,

---

**ENRIQUE VANEGAS**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Cartagena de Indias 22 de febrero de 2008

## **DEDICATORIA**

Agradezco a mis padres y a mis familiares por brindarme siempre su apoyo.

A mi novio hermoso por apoyarme en todo.

A Dios por siempre brindarme su ayuda incondicional.

**Verónica Bossio Arango**

## **DEDICATORIA**

A Veri. Mi razón, mi motivo.

**Álvaro Enrique Ruiz Reyes**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
GLOSARIO.....	1
INTRODUCCIÓN.....	4
RESUMEN.....	8
<b>1. MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Que es el mantenimiento predictivo.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Objetivos del mantenimiento predictivo.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. Ventajas del mantenimiento predictivo.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4. Metodología del mantenimiento predictivo.....</b>	<b>15</b>
<b>1.5. Fundamentos de Mantenimiento predictivo a través de la termografía         infrarroja.....</b>	<b>18</b>
<b>2. TERMOGRAFIA.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Que es la Termografía.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Historia de la Termografía.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TERMOGRAFIA.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.1 Ventajas de Aplicar Termografía a Sistemas Eléctricos.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.2 Ventajas de Aplicar Termografía a Sistemas Térmicos.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4 Factores que inciden en el análisis termográfico.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5 Parámetros de las instalaciones eléctricas.....</b>	<b>31</b>
<b>2.6 CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFIA.....</b>	<b>34</b>
<b>2.6.1 CRITERIO DE ANALISIS PARA SISTEMAS ELECTRICOS....</b>	<b>34</b>
<b>2.6.1.1 Subestaciones eléctricas.....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.1.2 Líneas de Transmisión.....</b>	<b>35</b>
<b>2.6.1.3 Planta de Manufactura.....</b>	<b>36</b>

<b>2.6.2</b>	Aplicaciones en instalaciones mecánicas.....	36
<b>3.</b>	<b>ANALISIS DE TERMOGRAMAS.....</b>	<b>41</b>
<b>3.1</b>	<b>CLASIFICACION DE PARAMETROS EN LOS ESTUDIOS</b>	
	TERMOGRAFICOS.....	42
<b>3.1.1</b>	Tablas de Clasificaciones.....	42
<b>3.2</b>	<b>EJEMPLOS DE APLICACIÓN.....</b>	<b>49</b>
<b>3.2.1</b>	<b>TERMOGRAMA DE LA SUBESTACION ELECTRICA</b>	
	DE UNA PLANTA INDUSTRIAL.....	50
<b>3.2.1.1</b>	Acometida 13.2 Kv.....	50
<b>3.2.1.2</b>	Subestación. Tablero de 220Vac.....	53
<b>3.2.1.3</b>	Subestación principal. Tablero media tensión.....	55
<b>3.2.2</b>	<b>TERMOGRAMA DE UNA SUBESTACION ELECTRICA</b>	
	CONVENCCIONAL.....	57
<b>3.2.2.1</b>	Seccionador de baja de potencia.....	58
<b>3.2.2.2</b>	Bajantes a seccionadores (anillo 115 kv).....	61
<b>3.2.2.3</b>	Salida de transformador a barra principal de 34.5 Kv..	63
<b>3.2.2.4</b>	Interruptor de potencia.....	65
<b>3.2.2.5</b>	Trampa de onda.....	66
<b>3.2.2.6</b>	Condensador fase S.....	68
<b>3.2.2.7</b>	Cuchilla seccionadora.....	69
<b>3.2.2.8</b>	Cuchilla Seccionadora 2.....	71
<b>3.2.2.9</b>	Interruptor de potencia 2.....	73
<b>3.2.2.10</b>	Interruptor 3 (Parte inferior de la cámara de extinción).....	75
<b>3.2.2.11</b>	Condensador (Conector en buje de alta).....	76
<b>4.</b>	<b>EQUIPOS QUE SE UTILIZAN PARA LA TERMOGRAFIA.....</b>	<b>78</b>

4.1	Termómetro Infrarrojo RT8A.....	78
4.2	Cámara Termográfica de alta prestaciones.....	80
4.3	Termómetros Infrarrojo siempre a mano.....	81
4.4	Cámara FLIR Therma Cam P65.....	82
5.	CONCLUSIONES.....	83
6.	BIBLIOGRAFIA.....	85

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Conexión Floja.....	22
<b>Figura 2.</b> Falta de Aislamiento.....	23
<b>Figura 3.</b> Imagen real y térmica de un horno de aceite caliente.....	30
<b>Figura 4.</b> Imagen real y térmica de un variador.....	32
<b>Figura 5.</b> Imagen real y térmica.....	34
<b>Figura 6.</b> Imagen real y térmica de un transformador.....	35
<b>Figura 7.</b> Líneas de Transmisión – Aisladores.....	35
<b>Figura 8.</b> Imagen real y térmica de una planta de manufactura.....	36
<b>Figura 9.</b> Imagen térmica de un horno rotatorio.....	37
<b>Figura 10.</b> Imagen real y térmica de un rodamiento.....	38
<b>Figura 11.</b> Imagen real y térmica de una válvula de admisión.....	39
<b>Figura 12.</b> Imagen real y térmica de un rodamiento.....	40
<b>Figura 13.</b> Imagen real y térmica de un horno de aceite caliente 2.....	40
<b>Figura 14.</b> Imagen térmica y real de un banco de transformadores.....	46
<b>Figura 15.</b> Panel de enfriamiento del transformador.....	48
<b>Figura 16.</b> Acometida 13.2 Kv de alimentación.....	50
<b>Figura 17.</b> Termograma de acometida de 13.2 Kv.....	51
<b>Figura 18.</b> Subestación principal tablero de 220 Vac.....	53
<b>Figura 19.</b> Termograma de tablero de 220 Vac.....	54
<b>Figura 20.</b> Tablero principal.....	55
<b>Figura 21.</b> Termograma de tablero principal.....	56
<b>Figura 22.</b> Imagen térmica y real de un seccionador fase R.....	58
<b>Figura 23.</b> Imagen térmica y real de un seccionador fase T.....	58
<b>Figura 24.</b> Imagen térmica y real de un bajante a seccionador fase R.....	61
<b>Figura 25.</b> Imagen térmica y real de un bajante a seccionador fase T.....	61

<b>Figura 26.</b> Imagen térmica y real de salida de trafo a barra principal.....	63
<b>Figura 27.</b> Imagen térmica y real de un interruptor de potencia.....	65
<b>Figura 28.</b> Imagen térmica y real de una trampa de onda.....	66
<b>Figura 29.</b> Imagen térmica y real de un condensador fase S.....	68
<b>Figura 30.</b> Imagen térmica y real de una cuchilla seccionadora.....	69
<b>Figura 31.</b> Imagen térmica y real de una cuchilla seccionadora fase S.....	71
<b>Figura 32.</b> Imagen térmica y real de un cuchilla seccionadora fase T.....	71
<b>Figura 33.</b> Imagen térmica y real del interruptor de potencia 2.....	73
<b>Figura 34.</b> Imagen térmica y real del interruptor de potencia 3.....	75
<b>Figura 35.</b> Imagen térmica y real del condensador.....	76
<b>Figura 36.</b> Termómetro infrarrojo RT8A.....	78
<b>Figura 37.</b> Cyclops TI 814.....	80
<b>Figura 38.</b> Termómetro infrarrojo a mano.....	81
<b>Figura 39.</b> Cámara FLIR Therma Cam P65.....	82

## LISTA DE TABLAS

	20
<b>Tabla 1.</b> Magnitudes y unidades de la termografía.....	43
<b>Tabla 2.</b> Parámetros del grupo A.....	44
<b>Tabla 3.</b> Parámetros del grupo B.....	45
<b>Tabla 4.</b> Parámetros del grupo C.....	46
<b>Tabla 5.</b> Parámetros de análisis térmicos.....	48
<b>Tabla 6.</b> Parámetros de análisis térmicos.....	51
<b>Tabla 7.</b> Acometida 13.2 Kv.....	51
<b>Tabla 8.</b> Termograma de acometida de 13.2 Kv.....	53
<b>Tabla 9.</b> Tablero de 220 Vac.....	54
<b>Tabla 10.</b> Termograma de tablero de 220 Vac.....	56
<b>Tabla 11.</b> Tablero principal.....	56
<b>Tabla 12.</b> Termograma de tablero principal.....	59
<b>Tabla 13.</b> Características térmicas de 2 de las fases del seccionador.....	62
<b>Tabla 14.</b> Características térmicas de un bajante a seccionador.....	64
<b>Tabla 15.</b> Salida de transformador a barra principal.....	65
<b>Tabla 16.</b> Características térmicas de un interruptor de potencia.....	67
<b>Tabla 17.</b> Características térmicas de una trampa de onda.....	68
<b>Tabla 18.</b> Características térmicas de un condensador fase S.....	70
<b>Tabla 19.</b> Características térmicas de una cuchilla seccionadora.....	72
<b>Tabla 20.</b> Características térmicas de una cuchilla seccionadora 2.....	74
<b>Tabla 21.</b> Características térmicas de un interruptor de potencia 2.....	75
<b>Tabla 22.</b> Características térmicas de un interruptor de potencia 3.....	77
<b>Tabla 23.</b> Características térmicas del condensador.....	

**Pág.**

## **GLOSARIO**

**ARMONICOS:** De una onda es un componente sinusoidal de una señal.

**AUTOMATIZACION:** Es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

**BOMBA CENTRIFUGA:** Es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas.

**CALDERA:** Es una máquina o dispositivo de ingeniería que está diseñado para generar vapor saturado.

**CAMARA DE EXTINCION:** también llamada cámara de extracción, estos son dispositivos en donde se forman las burbujas de gas, reduciendo las presiones a un volumen menor. En estas se extingue el arco

**CELULAS PELTIER:** Son unos dispositivos termoeléctricos que se caracterizan por la aparición de una diferencia de temperatura entre las dos caras de un semiconductor cuando por él circula una corriente.

**CICLOS DE STIRLING:** Es un ciclo termodinámico del motor Stirling que busca obtener el máximo rendimiento.

**CONECTOR:** Es un dispositivo para unir circuitos eléctricos. En informática, son conocidos también como interfaces físicos.

**CORROSION:** Es definida como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.

**ESPECTRO:** Es la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas o, más concretamente, a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia.

**HgCdTe:** (Mercury-Cadmium-Telluride), Mercurio-cadmio-Telurio.

**OEM:** (Original Equipment Manufacturer), Fabricante de Equipos Originales.

**SUBESTACIONES:** Son usadas para la transformación del voltaje de la energía eléctrica.

**RADIACION:** Consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

**RADIOMETRIA:** Ciencia que se ocupa del estudio de la medida de la radiación electromagnética.

**RODAMIENTOS:** Es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste, sirviéndole de apoyo y facilitando su desplazamiento.

**SF6:** Hexafluroro de azufre

**TRAMPA DE ONDA:** Son dispositivos que se conectan en serie en las líneas de alta tensión.

**TRAMPAS DE VAPOR:** Es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

**TURBINA:** Éstas son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y este le entrega su energía a través de un rodete con paletas o álabes.

## **INTRODUCCION**

Profundos cambios se han presentado en la última década en los mercados y conceptos tales como globalización, competencia, reducción de costos, servicio, etc., los cuales deben confrontarse todos los días para la permanencia de una empresa en su actividad específica.

En el mercado eléctrico, a nivel nacional, se ha asistido a su desregulación, concesión de servicio; generación como actividad de riesgo comercial; competencia de precios y la constitución de entes reguladores con capacidad técnica y legal para el control de la actividad.

Lógicamente estos cambios, esta motivación del mercado por la competencia, reducción de precios con calidad y continuidad, han impactado a todos y cada uno de los sectores de las empresas, incluyendo la actividad de mantenimiento.

Actualmente la técnica de mantenimiento debe necesariamente desarrollarse bajo el concepto de reducir los tiempos de intervención sobre el equipo, con el fin de obtener la menor indisponibilidad para el servicio, adoptando estrategias de:

- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo

Sumando a los conceptos previos, el correspondiente a "anular, salvo causas de fuerza mayor" salidas de servicio por roturas imprevistas y/o desperfectos. Es decir basándose en la predicción del estado del equipo, de las instalaciones, etc. realizar el mantenimiento preventivo de manera programada.

Una de las técnicas de mantenimiento predictivo que a lo largo de los últimos años ha pasado a ser una de las más utilizadas por parte de las empresas es la de *Termografía Infrarroja*. Esta técnica permite detectar, sin contacto físico con el elemento bajo análisis, cualquier falla que se manifieste en un cambio de la temperatura sobre la base de medir los niveles de radiación dentro del espectro infrarrojo.

En general, una falla electromecánica antes de producirse se manifiesta generando e intercambiando calor. Este calor se traduce habitualmente en una elevación de temperatura que puede ser súbita, pero, por lo general y dependiendo del objeto, la temperatura comienza a manifestar pequeñas variaciones.

Si es posible detectar, comparar y determinar dicha variación, entonces se pueden detectar fallas que comienzan a gestarse y que pueden producir en el futuro cercano o a mediano plazo una parada de planta y/o un siniestro afectando personas e instalaciones. Esto permite la reducción de los tiempos de parada al minimizar la probabilidad de salidas de servicio imprevistas, no programadas,

gracias a su aporte en cuanto a la planificación de las reparaciones y del mantenimiento. Los beneficios de reducción de costos incluyen ahorros de energía, protección de los equipos, velocidad de inspección y diagnóstico, verificación rápida y sencilla de la reparación, etc.

La inspección termográfica en sistemas eléctricos tiene como objetivo detectar componentes defectuosos basándose en la elevación de la temperatura como consecuencia de un aumento anormal de su resistencia óhmica. Las causas que originan estos defectos, entre otras, pueden mencionarse:

- Conexiones flojas
- Conexiones afectadas por corrosión
- Suciedad en conexiones y/o en contactos
- Degradación de los materiales aislantes

Sin dudas, el desarrollo de nuevas tecnologías ha marcado sensiblemente la actualidad en la industria, en la generación eléctrica, transmisión, subestaciones de potencia, etc., a nivel mundial. En los últimos años, dicha industria mecánica y eléctrica se ha visto bajo la influencia determinante de la electrónica, la automática y las telecomunicaciones, exigiendo mayor preparación en el personal, no sólo desde el punto de vista de la operación de la maquinaria, sino desde el punto de vista del mantenimiento.

La realidad de las plantas generadoras o subestaciones entre otras, matizada por la enorme necesidad de explotar eficaz y eficientemente la maquinaria instalada y elevar a niveles superiores la actividad del mantenimiento. No remediamos nada con grandes soluciones que presuponen diseños, innovaciones, y tecnologías de recuperación, si no se mantiene con una alta disponibilidad dichas plantas. En otras palabras, cualquier tipo de planta del sector eléctrico tiene que distinguirse por una correcta explotación y un mantenimiento eficaz. En otras palabras, la operación correcta y el mantenimiento oportuno constituyen vías decisivas para cuidar lo que se tiene.

## **RESUMEN**

Actualmente más que un servicio, las empresas del sector eléctrico ya sean plantas generadoras, transportadoras o distribuidoras de la energía eléctrica, ofrecen alta confiabilidad en la prestación de dicho servicio y total disponibilidad. Esto se logra en gran parte por el adecuado mantenimiento de cada uno de sus equipos, dispositivos, instrumentos, etc. Estos mantenimientos pueden ser del tipo correctivo, que es cuando se produce una falla en determinado equipo generando así una posible salida o parada en la producción, mientras se toma la acción correctiva o reemplazo del equipo averiado. Por otra parte esta la opción del mantenimiento preventivo, con el fin de que no se produzcan daños irreparables en los diferentes dispositivos que intervienen en los procesos, disminuyendo así, considerablemente los costos de mantenimiento. Pero existe un tercer tipo de mantenimiento llamado “predictivo”, basado fundamentalmente en detectar una falla antes de que suceda, para dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detención de la producción, y sobretodo ahorrando mucho mas dinero que en los otros dos tipos de mantenimientos. Se usan para ello instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas no destructivas. La Termografía Infrarroja en el área de mantenimiento presenta ventajas comparativas inigualables, entre las cuales se pueden nombrar:

- **Evitar interrumpir los procesos productivos**
- **Localizan con exactitud y con anhelación los potenciales problemas**
- **Disminuyen las actuaciones de mantenimiento y reducen el tiempo de reparación**
- **Alargan la vida de los equipos**

Quizá sea el ensayo más divulgado y exitoso de los últimos años. Se complementa eficientemente con los otros ensayos del mantenimiento, así como son el análisis de lubricantes, el análisis de vibraciones, el ultrasonido pasivo y el análisis predictivo de motores eléctricos. También, por supuesto, con los ensayos no destructivos clásicos como lo son el ensayo radiográfico, el ultrasonido activo, tintas penetrantes, partículas magnéticas y corrientes inducidas.

A su vez, de todas las tecnologías relacionadas al mantenimiento, la Termografía Infrarroja sería la que está más vinculada a la seguridad de una instalación.

Durante los últimos quince años, la termografía de rayos infrarrojos ha ganado aceptación como la manera de inspeccionar los sistemas de circuitos para saber si existen conexiones flojas o cualquier otra condición peligrosa o antieconómica. Esta es una aplicación no comprobada y lo que la mayoría de los proveedores de servicios de esta tecnología hacen para ganarse la vida. Sin embargo, la mayoría de nosotros sabemos que hay muchos usos dentro de la termografía de rayos

infrarrojos. Este trabajo discute algunas de esas aplicaciones así como las nuevas técnicas para desarrollar y promover la termografía tradicional de rayos infrarrojos.

Dentro de las aplicaciones de la Termografía se encuentra la inspección de sistemas eléctricos, detección de puntos calientes, falsos contactos, desbalance entre fases, inspección en sistemas mecánicos, inspección y monitoreo de procesos de producción, maquinas rotativas, seccionadores, interruptores y demás procesos.

En resumen, la termografía tiene el mayor campo de aplicación en la industria y a menores riesgos de trabajo, con menores costos de producción (paros no programados), en condiciones no destructivas.

## **1. MANTENIMIENTO PREDICTIVO.**

La moderna tecnología proporciona una serie de métodos, que permiten evaluar externamente las condiciones de funcionamiento de la maquinaria a través del control y evolución de ciertos parámetros (vibraciones, temperaturas, análisis de aceites, presiones de engrase,...). Basándose en estos métodos, el mantenimiento predictivo condicional busca como objetivo final asegurar el correcto funcionamiento de las máquinas, a través de la información obtenida de la inspección del estado del equipo. Esta inspección se llevará a cabo por una vigilancia periódica, o continuada, de los niveles o umbrales correspondientes a los parámetros que definen la condición de funcionamiento del equipo, y que se realiza sin necesidad de recurrir a desmontajes y revisiones periódicas.

### **1.1 QUE ES EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.**

El **Mantenimiento Predictivo** consiste en la observación de las condiciones y el análisis de los parámetros de funcionamiento de una máquina o equipo, bien de forma periódica o bien de forma continua, con el fin de predecir y evitar la aparición de la avería.

El mantenimiento predictivo interviene cuando al efectuar las pruebas al equipo, se llega a conocer su estado actual y es posible, entonces, conocer el estado futuro o anticiparse a las posibles fallas. El mantenimiento preventivo sistemático (MPS) <sup>1</sup> se realiza generalmente con línea desenergizada, pero existen algunas técnicas que se pueden aplicar sin necesidad de desenergizar la línea. En la mayoría de las industrias el mantenimiento programado se efectúa en días en los que la producción puede ser interrumpida, pero en el caso del servicio eléctrico, ya que su continuidad no puede ser interrumpida, estos trabajos se programan en días en los que el consumo de energía eléctrica es menor que los demás, lo que ocurre generalmente los fines de semana.

También existen disposiciones de subestaciones que permiten que algunos equipos puedan ser desenergizados para trabajos de mantenimiento, sin que esto implique la interrupción del servicio.

---

<sup>1</sup> Servicios de Mantenimiento Preventivo sistemático, donde cada equipo hace un paro después de un período de funcionamiento, para que sean hechas mediciones, ajustes y si es necesario, cambio de piezas en función de un programa preestablecido a partir de la experiencia operativa, recomendaciones de los fabricantes.

## **1.2 OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.**

Este mantenimiento predictivo será capaz de proporcionar:

1. Una detección anticipada del deterioro o desgaste de un componente, con la consiguiente prevención anticipada del fallo. El objetivo de esta etapa es minimizar los daños ocasionados por paradas catastróficas y aumentar la fiabilidad del sistema.
2. Prever el tiempo que se dará el deterioro o desgaste y relacionarlo con la posibilidad de originar fallos mayores en el proceso, en forma de interrupciones del mismo o despilfarros por pérdidas de calidad.

Para desarrollar esta etapa se ha de conocer, a través de una estimación basada en los históricos, la tendencia y el valor característico límite del parámetro que se controla. Por ello es necesario que el personal tenga un alto nivel de formación, no sólo en el manejo de los equipos, sino también en la interpretación de los resultados.

3. Planificar es el objetivo. Conocer el estado de los equipos comparándolo con el estado de referencia y su tendencia de deterioro, permite la planificación de las intervenciones en los mismos, minimizando el impacto sobre el proceso productivo y aumentando la fiabilidad del sistema. En el caso de útiles y herramientas, permite decidir el momento más económico para hacer su sustitución por desgaste, tratando de buscar el valor límite de la vida útil.

4. A través de los conocimientos de los sistemas que se adquieren con el uso de esta metodología se abren nuevas posibilidades en los procesos de mejora continua y la búsqueda permanente de nuevos estándares y procedimientos de:

- Las condiciones ideales de trabajo.
- Materiales.
- Producto.

### **1.3 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

La implantación de un plan de mantenimiento predictivo en la empresa tiene múltiples ventajas. Tres son los campos donde estas ventajas se hacen más significativas:

a. Reducción de los costes de Mantenimiento.

- Identificando y corrigiendo los problemas en las maquinas, antes de que estos sean más serios y más costosos de reparar.
- Incrementando la eficiencia para la detección de fallos en los equipos.
- Reducción del número de intervenciones así como el de partes de mantenimiento en curso.
- Identifica y reemplaza prácticas pobres de mantenimiento.
- Reduce el coste de horas de trabajo del personal de mantenimiento.
- Reduce el mantenimiento preventivo programado, que puede ser innecesario y costoso.

b. Incremento de la Producción.

- Reduce los tiempos muertos inesperados por fallos en el equipo.
- Extiende la vida del equipo.
- Reduce los peligros y accidentes generados al fallar el equipo.
- Incrementa la velocidad del proceso y la velocidad de producción.
- Aumenta el valor de cada maquina, por el incremento anual de producción.
- Aumenta el grado de fiabilidad de la maquinaria, permitiendo cumplir a tiempo con las órdenes de producción.

c. Incremento de la Eficiencia Total de la Planta.

- Las ganancias derivadas por la reducción de costos de mantenimiento e incremento de producción, sobrepasan varias veces la inversión hecha en la aplicación de estas técnicas.

#### **1.4 METODOLOGIA DEL MANTEMIENTO PREDICTIVO**

Un estricto y constante seguimiento de los parámetros de condición de las máquinas (vibraciones, temperatura,...) proporciona como se ha visto, un aviso previo a un fallo que, de no detectarse, puede obligar a su paro repentino, junto a todas las consecuencias que esto puede llevar desde el punto de vista de producción. A la vez, este tipo de mantenimiento puede disminuir costes en los cambios de elementos programados y que todavía pueden continuar trabajando por más tiempo.

Es por tanto una forma de mejorar la eficiencia de un mantenimiento preventivo.

En la organización del mantenimiento predictivo son importantes los siguientes nueve pasos:

#### **A. Reconocimiento de la planta.**

En primer lugar, antes de la implantación del mantenimiento predictivo es preciso decidir la necesidad y eficacia en una empresa. Esta decisión estará en función del tipo de máquinas, de la cantidad y de su importancia en el proceso.

#### **B. Selección de las máquinas.**

Dentro de una planta (generadora, subestación) se hará un estudio de los parámetros a controlar de acuerdo a un calendario establecido de aquellos equipos que forman parte del proceso de producción de una forma esencial, es decir, de aquellos cuyo fallo provocaría pérdidas importantes desde el punto de vista de producción, por pérdidas económicas, dificultad y cantidad de tiempo en volver a arrancar. De igual modo, se seguirá de forma constante la parte de la maquinaria que por su tamaño o valor económico, productivo sean importantes para la empresa.

#### **C. Elección de técnicas óptimas para verificar.**

Forma de efectuar la verificación, decidir qué, cómo, cuándo, dónde se han de realizar las mediciones.

#### **D. Implantación del predictivo.**

El programa de implantación del predictivo debe contener:

Máquinas a estudiar y sistemas de medición, toma de datos y análisis.

#### **E. Fijación y revisión de datos y límites de condición aceptable.**

Para fijar un límite según valores que pueden llamarse normales es esencial contar con un histórico de datos obtenido en repetidas mediciones. Un valor medio de los datos obtenidos dará el nivel aceptable de cada uno de los puntos medidos. Los límites que marcan que un valor sea aceptable serán fijados según este histórico de datos y de la experiencia. Así por ejemplo en el caso de las mediciones de vibraciones, al principio, cuando no se tiene un conjunto de valores que permitan estimar si una vibración está dentro de los límites que marcan su normalidad, la aceptación de un valor se hará mediante las instrucciones del fabricante y con las gráficas de severidad.

#### **F. Mediciones de referencia.**

Siempre se tendrá una medida de referencia con la que se compararán cada una de los datos que se tomen para ver si está entre los límites de aceptabilidad.

#### **G. Recopilación, registro y análisis de las tendencias.**

Aquí se tratará de detectar un posible defecto en la máquina.

#### **H. Análisis de la condición de la máquina.**

En este paso se confirmará si existe realmente un fallo y se determinarán sus causas y la evolución que pueden sufrir.

#### **I. Corrección de fallos.**

## **1.5 FUNDAMENTOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A TRAVES DE LA TERMOGRAFIA INFRAROJA**

Mediante el empleo de termografía infrarroja, técnica que permite medir una temperatura de superficie con precisión, se pueden identificar componentes eléctricos y mecánicos más calientes de lo que deberían estar, ó detectar pérdidas excesivas de calor: indicios de aislaciones deficientes o inadecuadas. Asimismo se logra una reducción de los tiempos de parada de un equipo, al minimizar la probabilidad de detenciones imprevistas o no programadas. Es decir basándose en la predicción del estado del equipo, de las instalaciones, etc. realizar el mantenimiento preventivo de manera programada.

Esta técnica de mantenimiento permite un estudio detallado del estado de los diferentes dispositivos o mecanismos que intervienen en un determinado proceso de producción, o en el caso de una subestación eléctrica, los distintos elementos que hacen posible la elevación, reducción o distribución de la energía. Ya que, por medio de las imágenes térmicas se puede apreciar cambios de temperaturas que sería el indicio de una falla o mal funcionamiento.

En los últimos años la termografía infrarroja viene jugando un rol cada vez más importante en el mantenimiento, convirtiéndose en una de las técnicas más populares y con mayores índices de aceptación, ya que, y como se ha

mencionado en varias ocasiones, la implementación o ejecución de esta se hace sin la necesidad de desenergizar o detener una maquina, puesto que esta tecnología hace el estudio del estado térmico del dispositivo sin contacto físico alguno y en operación normal.

En cuanto a la reducción de costos, el empleo de esta tecnología consigue ahorro en energía eléctrica, una protección adecuada de equipos valiosos, velocidad de inspección y diagnóstico, y lo más importante: evita las pérdidas de producción ocasionadas por paradas imprevistas, lo cual se traduce también en un ahorro significativo de dinero para las industrias o empresas que no se limiten solo a implementar mantenimientos de tipo preventivo, o en el peor de los casos, correctivos.

## 2. TERMOGRAFIA

Para entender físicamente lo relacionado a termografía nos remitimos a dar una explicación breve acerca de los principios, magnitudes y leyes físicas que la enmarcan.

MAGNITUDES	UNIDADES
intensidad radiante	W/sr (estereorradián)
radiancia integrada en tiempo	J/(sr*m <sup>2</sup> )
flujo radiante	W
Irradiancia	W/m <sup>2</sup>
Dosis	J/m <sup>2</sup>
radiancia (L)	W/(sr*m <sup>2</sup> )

Tabla 1: Magnitudes y Unidades de la Termografía

Los mecanismos de generación de radiación óptica son:

- Excitación Térmica, este está dado por la ecuación de Stefan Boltzman<sup>2</sup>.

$$M(T)=5.67*10^{-8}*T^4$$

- Descarga Gaseosa
- Amplificación de la Luz por emisión estimulada de radiación

La radiancia está dada por la ley de Planck<sup>3</sup>.  $L=2\pi hc^2/(\lambda^5 * \exp(bc/\lambda KT)^{-1})$

Ley de Wien<sup>4</sup> para la emisión máxima.  $\lambda_{max}=2.898*10^{-3}/T$

---

<sup>2</sup> La ley de Stefan-Boltzmann establece que toda materia que no se encuentra a una temperatura infinita *emite* dos radiaciones térmicas.

<sup>3</sup> La ley de Planck establece que la energía de cada cuanto es igual a la frecuencia de la radiación multiplicada por la constante universal.

<sup>4</sup> La Ley de Wien es una ley de la física. 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.

## 2.1 QUE ES LA TERMOGRAFIA

Unas de las técnicas de mantenimiento predictivo que a lo largo de los años ha pasado a ser una de las más utilizada por parte de las empresas es la Termografía Infrarroja.

Esta técnica permite detectar, sin contacto físico con el elemento bajo análisis, cualquier falla que se manifieste en un cambio de la temperatura sobre la base de medir los niveles de radiación dentro del espectro infrarrojo<sup>5</sup>.

En general, una falla electromecánica antes de producirse se manifiesta generando e intercambiando calor. Este calor se traduce habitualmente en una elevación de temperatura que puede ser súbita, pero, por lo general y dependiendo del objeto, la temperatura comienza manifestar pequeñas variaciones. Si es posible detectar, comparar y determinar dicha variación, entonces se puede detectar fallas que comienzan a gestarse y que pueden producir en el futuro cercano o a mediano plazo una parada de planta. Esto permite la reducción de los tiempos de parada al minimizar la posibilidad de salidas de servicios imprevistas, no programadas, gracias a su aporte en cuanto a la planificación de las reparaciones y del mantenimiento.

---

<sup>5</sup> El espectro infrarrojo es una gráfica de la energía infrarroja absorbida a varias frecuencias en la región del espectro infrarrojo. La muestra actual, el aceite de referencia y las muestras previas son usualmente comparadas.

Los beneficios de reducción de costos incluyen un ahorro significativo de energía eléctrica, protección de equipos utilizados, velocidad de inspección y diagnóstico, y una verificación rápida y sencilla de la reparación.

La inspección termográfica en sistemas eléctricos tiene como objetivo detectar componentes defectuosos basándose en la elevación de la temperatura como consecuencia de un aumento anormal de su resistencia ohmica. Las causas que originan estos defectos, entre otras, pueden mencionarse:

- Conexiones afectadas por corrosión.
- Suciedad en conexiones y/o en contacto.
- Degradación de los materiales aislantes.
- Conexiones Flojas.
- Debido a Armónicos



Figura 1. Conexión Floja

Con la técnica tradicional de limpiar y apretar se efectúa acciones para corregir conexiones flojas y pobres contactos, de esta forma todas las conexiones, empalmes y puntos de contactos reciben físicamente mantenimiento, lo necesiten o no, por lo tanto generalmente no se sabe si corrigió una falla o no.

Con termografía se focalizan los problemas que deben ser corregidos bajo las técnicas convencionales y además puede encontrar otros problemas que en circunstancia normales no serían detectados. Dado que la termografía infrarroja es un medio que permite identificar, sin contacto alguno, componentes eléctricos y mecánicos más calientes de lo que deberían estar, probable área de falla, e indica también pérdidas excesivas de calor, probable falla de aislamiento defectuosa.

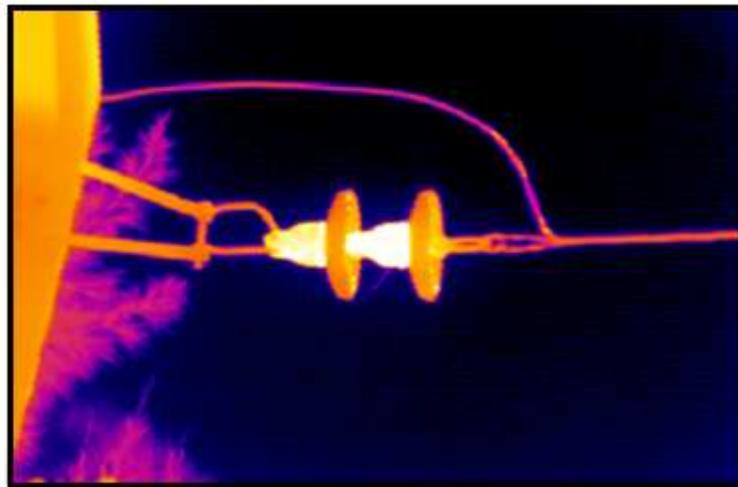


Figura 2: Falta de Aislamiento

## 2.2 HISTORIA DE LA TERMOGRAFIA

En el año 1738, nació en Hannover Alemania el astrónomo y músico Frederick William Herschel<sup>6</sup>. A la edad de 19 años se trasladó a Inglaterra. Dedicado en un principio a la música emprendió la construcción de potentes telescopios.

En 1774 con la ayuda y colaboración de su hermana Carolina, también astrónoma, comenzó un estudio sistemático del firmamento. En 1781 descubrió un nuevo planeta que llamó Georgium Sidus<sup>7</sup> en honor a su rey Jorge III, este planeta es llamado universalmente Urano. También estudio el periodo de rotación de muchos planetas, así como el movimiento de las estrellas dobles y las nebulosas, aportando nuevas información sobre su constitución.

En el año 1800 descubre la existencia de la radiación infrarroja (=luz infrarroja). Este descubrimiento se produce durante la realización de un experimento en el que estudia las propiedades de las distintas bandas del espectro de la luz solar con ayuda de un termómetro de mercurio. Para ello, descompone la luz solar con un prisma obteniendo los colores que la forman. A continuación se dedica a realizar la medición de las temperaturas correspondientes a cada una de las zonas de distinto color. Para su sorpresa, observa que el termómetro muestra la mayor subida en una banda inmediatamente contigua a la banda roja del espectro visible.

---

<sup>6</sup> Frederick William Herschel, (7 de marzo de 1792 – 11 de mayo de 1871) fue un matemático y astrónomo inglés, hijo del astrónomo William Herschel.

<sup>7</sup> Urano fue llamado **Georgium Sidus**, 'estrella de Jorge', en latín, por su descubridor William Herschel en honor a su mecenas real Jorge III

Herschel deduce de manera correcta a partir de este hecho que se trata de una manifestación de una luz invisible por completo para el ojo humano.

A continuación la denomina ultrarroja, es decir situada más allá del rojo. (El nombre de infrarroja se refiere a la frecuencia de dicha luz. La frecuencia de la luz 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 del siglo veinte se desarrollaron los primeros sistemas de termografía, compuestos de varias unidades modulares de gran tamaño que formaban conjuntos pesados y difíciles de manejar. El elemento sensor era una aleación de diferentes elementos como  $\text{HgCdTe}^8$  que por efecto fotoeléctrico producían una señal eléctrica al incidir la radiación infrarroja sobre él. El inconveniente que tenía esta técnica era que el sensor se calentaba y se necesitaba un sistema paralelo de refrigeración, que evoluciono desde los ciclos de Stirling<sup>9</sup> mediante nitrógeno líquido hasta la refrigeración termoeléctrica mediante células Peltier.

Sobre la década de los ochenta apareció otra tecnología que revoluciono el mundo de la medida de temperatura sin contacto. Se desarrollaron los sensores de efecto térmico o también llamados micro bolómetros.

---

<sup>8</sup>  $\text{HgCdTe}$ (Mercury-Cadmium-Telluride): Es un semiconductor compuesto ternario, que presenta una longitud de onda de corte proporcional a la composición de aleación.

<sup>9</sup> El ciclo Stirling es un ciclo termodinámico del motor Stirling que busca obtener el máximo rendimiento.

Estos a diferencia de los anteriores utilizaban el efecto térmico de la radiación infrarroja para variar las condiciones eléctricas de una microresistencia, compuesta por un material semiconductor, y así obtener una señal proporcional a la potencia del infrarrojo recibido.

Esta tecnología ya no necesitaba ningún tipo de refrigeración y por tanto se pudo reducir de manera asombrosa el tamaño y el peso de los sistemas termográficos. Hoy día estos sistemas tienen el tamaño de una cámara portátil y pueden ser manejados con una sola mano.

Los buenos resultados que proporciona la termografía y el cambio de conciencia que cada vez impera mas entre los profesionales de la industria, hace pensar que el futuro de esta técnica tiene todavía mucho camino por recorrer, un camino que siquiera Herschel podía haber imaginado.

### **2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TERMOGRAFIA**

Como toda tecnología, la termografía infrarroja presenta una serie elementos a favor y otros tantos en contra (ventajas y desventajas), los cuales son también relativos, y su severidad depende del punto de vista del cual se les mire, o de la necesidad inmediata del cliente que solicita un estudio detallado y efectivo del estado de sus maquinas.

Existen distintas técnicas para llevar a cabo el mantenimiento de determinado equipo, muchas de ellas se han venido ejecutando desde tiempos donde la tecnología y el avance de la electrónica no se encontraban en el desarrollo que actualmente conocemos, y se optaba por prácticas un poco rudimentarias y sencillas para la ejecución de una acción correctiva o preventiva, sin tener conocimiento seguro de que la acción tomada en realidad contribuyo con el mejoramiento del proceso del equipo o no. Dichas prácticas prevalecen en la actualidad, y la idea es hacer una comparación exhaustiva de esas técnicas de antaño con la evolución de las técnicas de mantenimiento predictivo, en el caso puntual de la termografía infrarroja.

A continuación se ilustran las diferentes bondades de la termografía como método de mantenimiento, así como sus inconvenientes.

## **VENTAJAS**

- **Evitar interrumpir los procesos productivos:** Disminuyen las interrupciones en los procesos productivos y se controla la integridad del sistema que los alimenta y protege. El ahorro final depende del intervalo de tiempo en que se realice el mantenimiento predictivo.

- **Localizan con exactitud y con antelación los potenciales problemas:** Localización exacta y con suficiente antelación de los potenciales problemas mediante el incremento de temperatura. Inmediatamente después de realizar el mantenimiento predictivo ya se puede organizar la solución a los problemas detectados.
- **Disminuyen las actuaciones de mantenimiento y reducen el tiempo de reparación:** Disminución de las actuaciones de mantenimiento tradicional: las anomalías se predicen con suficiente antelación para que sean reparadas y no se llegue a producir una avería que supondría un considerable tiempo de reparación.
- **Alargan la vida de los equipos:** Mediante ensayos no destructivos se realiza un seguimiento del funcionamiento de los equipos, corrigiendo las anomalías detectadas en el menor tiempo posible para alargar su vida útil.
- **Permiten un uso más eficiente de la energía:** Se consigue una disminución del consumo de los equipos de calefacción/refrigeración actuando sobre las causas que originan pérdidas de frío o de calor. Se consigue, por tanto, un ahorro económico y un menor impacto sobre el medio ambiente.
- **Le proporcionan descuentos en la póliza del seguro:** Cada vez son más las compañías aseguradoras o consultorías de riesgos y seguros que valoran el uso de la termografía aplicada al mantenimiento predictivo y al diagnóstico de instalaciones, mediante primas a la póliza del seguro.

## **DESVENTAJAS**

- Capacidad limitada para la identificación de defectos internos en la medida que el defecto no se manifieste externamente por incremento de la temperatura.
- Los reflejos solares pueden enmascarar o confundir defectos.
- El estado de carga del elemento bajo análisis puede influir en la determinación de las anomalías.

### **2.3.1 VENTAJAS DE APLICAR TERMOGRAFIA A SISTEMAS ELECTRICOS**

- Detección de falsas conexiones, cortocircuitos, sobrecargas, desbalance de cargas, instalaciones deficientes.
- Localización de problemas rápida y eficientemente, sin interrumpir los procesos de producción.
- Reducciones de interrupciones costosas no programadas (No emergencias por mantenimiento)

### **2.3.2 VENTAJAS DE APLICAR TERMOGRAFIA A SISTEMAS TERMICOS**

Detección de problemas en sistemas de aislamientos y recubrimientos, radiadores, nivel de líquidos, tuberías de conexión de vapor, torres de enfriamiento, chimeneas.

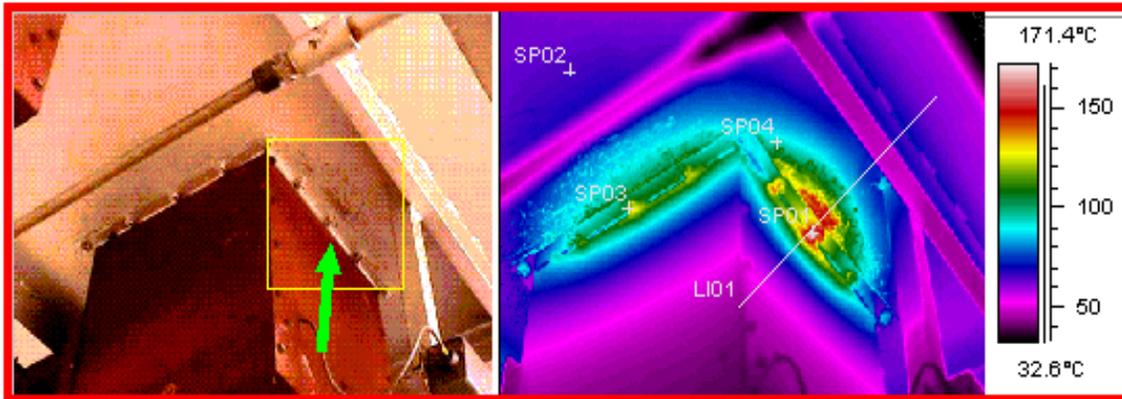


Figura 3: Imagen Real y Térmica de un Horno Aceite Caliente

## 2.4 FACTORES QUE INCIDEN EN EL ANALISIS TERMOGRAFICO

### CARGA

El efecto del calentamiento cuando se presenta una falla, incrementa en términos generales con el valor de la carga elevada al cuadrado. Se ha demostrado que el exceso de temperatura de un componente, aumenta linealmente con el efecto desarrollado.

### ATENUACION ATMOSFERICA

La atmósfera no es completamente transparente a la radiación infrarroja, información que puede ser atenuada al pasar a través de ella y la cual también puede emitir radiación. Para ello existen unos factores de corrección que dependerán de una serie de parámetros, tales como la distancia al objeto, humedad relativa, temperatura del aire en grados centígrados, Fahrenheit o Kelvin dependiendo del tipo de equipo.

## **EMISIVIDAD**

La emisividad es la propiedad que poseen los cuerpos de emitir la energía térmica. Como no todos los cuerpos cuando aumentan su temperatura pueden radiar energía de la misma forma, esta dependerá del tipo de material. Muchos elementos tienen buena capacidad de reflexión como son las superficies de material brillante, y se pueden reflejar brillos que seguramente se mostraran como puntos calientes.

## **VELOCIDAD DEL VIENTO**

El efecto refrigerante producido por la velocidad del viento, es uno de los factores a tener en cuenta en un análisis Termográfico.

## **2.5 PARAMETROS DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS**

Las aplicaciones eléctricas representan el principal uso de las facilidades y utilidades que ofrecen los equipos de termografía Infrarroja.

En los sistemas eléctricos una inspección permite identificar los problemas causados por las relaciones corriente/resistencia, las fallas son causadas usualmente por conexiones sueltas o deterioradas, cortocircuitos, sobrecargas, cargas desbalanceadas, componentes que se han instalado inapropiadamente o falla del componente en sí.

A continuación se describen las causas más comunes de falla:

- **ALTA RESISTENCIA ELECTRICA:** es la causa más común del exceso de temperatura en equipos eléctricos y líneas de potencia.

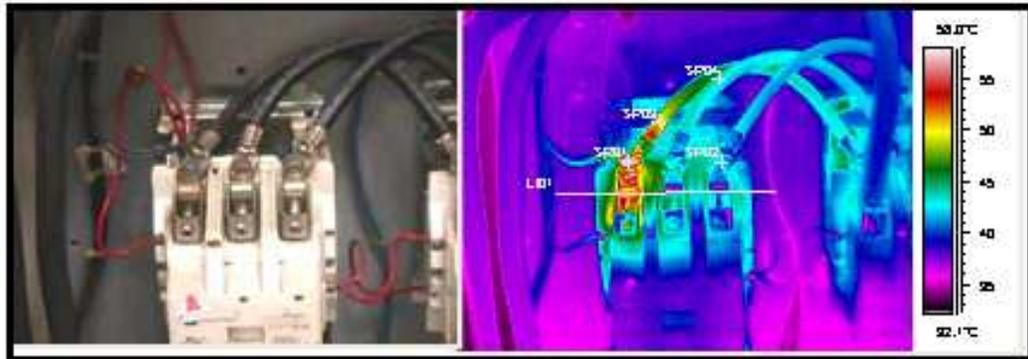


Figura 4: Imagen Real y Térmica de un Variador

De acuerdo con la ley de ohm<sup>10</sup>, la potencia disipada de un elemento (y el calentamiento resultante), es igual al cuadrado de la corriente multiplicado por la resistencia  $P=I^2 \times R$ . Cuando la corriente de línea se mantiene constante y la resistencia es mayor que la nominal, se disipa una potencia adicional y ocurre un incremento anormal de temperatura, significando costos y peligro.

Cuando se tiene un punto con alta resistencia eléctrica, el calor generado se transfiere al conductor adyacente y al aire. Una imagen (termograma) de este punto, mostrará un área caliente en la conexión y una disminución gradual de la temperatura a medida que aumenta la distancia desde la conexión.

<sup>10</sup> **Ley de OHM:** relaciona el valor de la resistencia de un conductor con la intensidad de corriente que lo atraviesa y con la diferencia de potencial entre sus extremos.

### • **CORTO CIRCUITO**

Cuando ocurre un corto en una línea de potencia, la duración es usualmente breve, con resultados inmediatos y desastrosos. Sin embargo, un cortocircuito dentro de un componente de operación se puede detectar y diagnosticar usando la termografía ya que la sección en corto causara excesivo flujo de corriente generando calentamiento.

### • **CIRCUITO ABIERTO**

Un elemento operando en condiciones de temperatura inferior a la normal, puede ser la indicación de que el circuito se encuentra abierto. Este tipo de falla es común en condensadores de circuitos integrados, fuente de suministro de potencia, etc.

### • **CORRIENTES INDUCTIVAS**

Las corrientes inductivas pueden causar excesivo calentamiento dentro del elemento o componente ferroso que están dentro del campo magnético de un equipo de gran capacidad como por ejemplo un generador principal.

### • **TIERRAS ENERGIZADAS**

Las tierras energizadas son un fenómeno común en las instalaciones de una planta. Cuando esto ocurre, usualmente se genera alta temperatura, por lo que no es difícil identificarla termográficamente.

## 2.6 CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFIA

La Termografía es usado en muchísimas aplicaciones tales como: medicina, calderas, aplicaciones ambientales, estructura de edificios etc. mas sin embargo se profundizara solo en aplicaciones eléctricas y mecánicas debido a la magnitud del trabajo.

### 2.6.1 CRITERIO DE ANALISIS PARA SISTEMAS ELECTRICOS

Para evaluar la severidad de una falla, nuestro Termógrafo usa el criterio de Delta de temperatura ( $\Delta T$ )<sup>11</sup>. Esta referencia presenta típicamente la temperatura ambiente o es un equipo que esta trabajando a las mismas condiciones del equipo comparado.

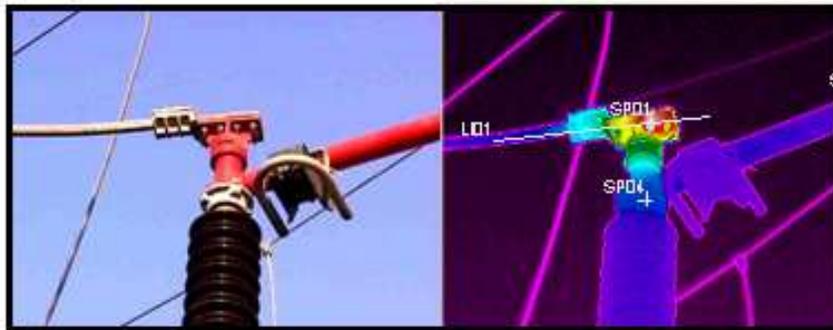


Figura 5: Imagen Real y Térmica

---

<sup>11</sup> Delta de temperatura ( $\Delta T$ ): En este criterio, se determina la diferencia de temperatura entre el punto que presenta la falla y un punto de referencia.

### 2.6.1.1 SUBESTACIONES ELECTRICAS

Transformadores de Potencia, seccionadores, interruptores, trampas de onda<sup>12</sup>, barrajes, aisladores, banco de baterías, tablero de control de los equipos, etc

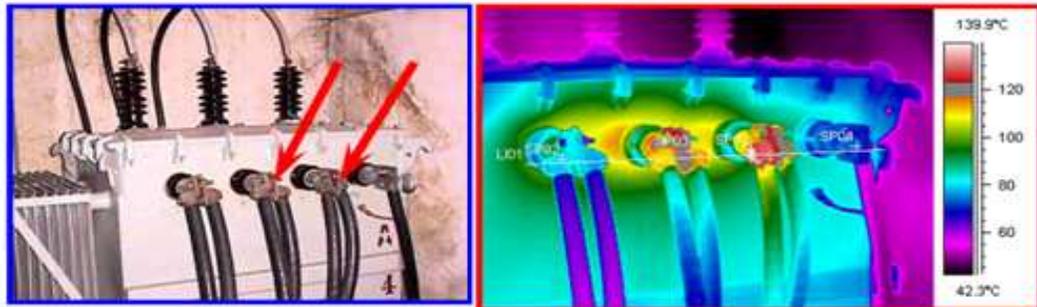


Figura 6: Imagen Real y Térmica de un Transformador

### 2.6.1.2 LINEAS DE TRANSMISION

Punto de conexión entre los aisladores y la línea, conexiones de tierra de las estructuras, etc.

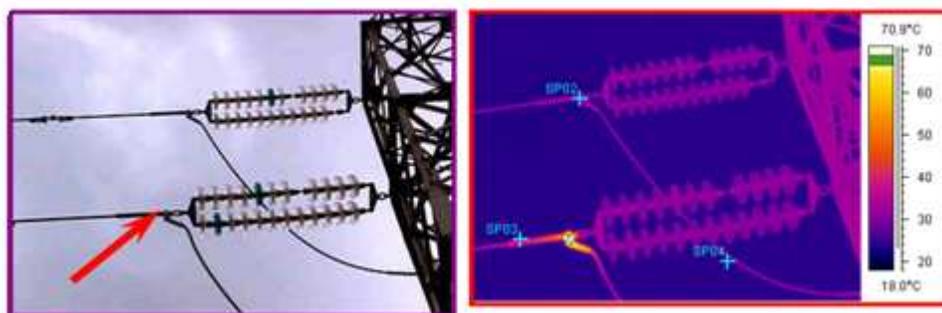


Figura 7: Líneas de Transmisión - Aisladores

<sup>12</sup> Trampas de onda: son dispositivos que se conectan en serie en las líneas de alta tensión. Su impedancia debe ser despreciable a la frecuencia industrial de tal forma que no perturbe la transmisión de energía, pero debe ser relativamente alta para cualquier banda de frecuencia utilizada para comunicación por portadora.

### 2.6.1.3 PLANTA DE MANUFACTURA

Centro de control de motores, subestación eléctrica, motores eléctricos, etc.

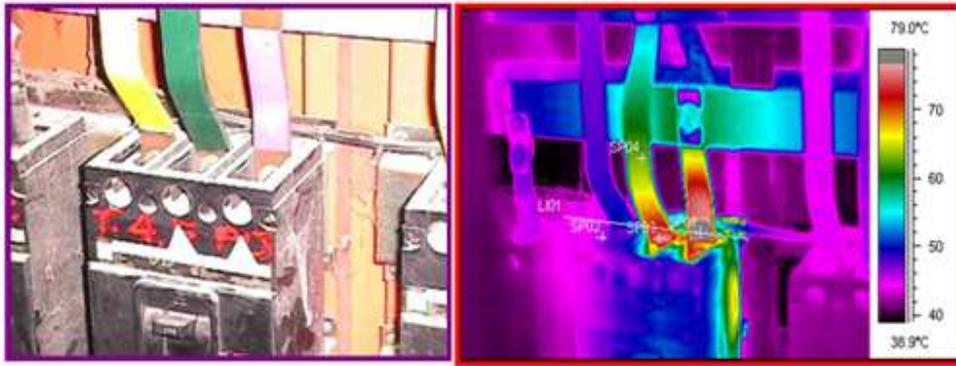


Figura 8: Imagen real y Térmica de una Planta de Manufactura

### 2.6.2 APLICACIONES EN INSTALACIONES MECANICAS

La Termografía Infrarroja tiene varias aplicaciones importantes que han surgido del monitoreo de la condición por temperatura y del análisis de problemas durante la operación de un sistema mecánico.

En algunas instalaciones mecánicas tales como sistemas de aislamiento térmico y/o revestimiento refractario, lo más importante es identificar y cuantificar la extensión de una falla en el revestimiento; en equipos como calderas, hornos, etc.

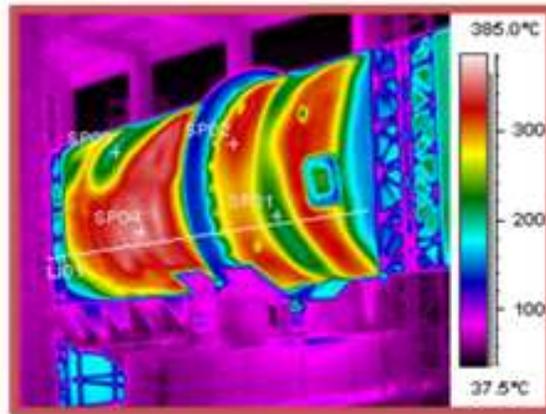


Figura 9: Imagen Térmica de un Horno Rotatorio

En otras instalaciones mecánicas tales como los sistemas de intercambio de calor, es más importante evaluar que circunstancias o elementos pueden llegar a causar una pérdida de eficiencia en la función básica del sistema; la Termografía Infrarroja puede suministrar el patrón térmico exterior de un intercambiador de calor (IC)<sup>13</sup>, que facilita el análisis de un problema de este tipo.

En los equipos rotantes tales como motores eléctricos, turbinas, reductores de velocidad, bombas centrifugas, compresores, etc. La Termografía puede ayudar a identificar el sitio de una falla cuando el exceso de calor de la misma se exterioriza. El exceso de calor se puede originar por varias circunstancias.

Por Ejemplo:

---

<sup>13</sup> Un **intercambiador de calor** es un dispositivo diseñado para transferir calor de un fluido a otro, sea que estos estén separados por una barrera sólida o que se encuentren en contacto.

- Por la fricción que ocurre en el interior de un rodamiento o cojinete cuando este se encuentra defectuoso, cuando presenta desgaste natural, cuando soporta una carga con desalineamiento, cuando se encuentra con lubricación inadecuada, o cuando es maltratado.

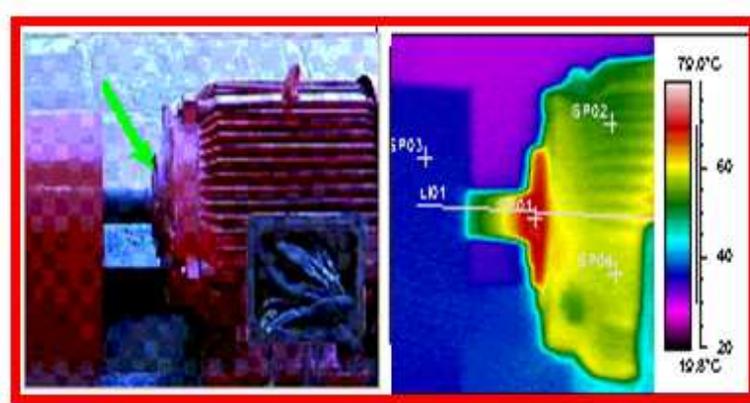


Figura 10: Imagen Real y Térmica de un Rodamiento

- Se puede generar exceso de calor por fricción sobre las pistas de una polea cuando existe tensionamiento inadecuado o desigual en las correas, cuando existe desalineamiento en este tipo de acoplamiento, cuando existen diferencias importantes entre la potencia suministrada y la requerida entre el motor y el equipo conducido.
- Se genera exceso de calor al interior de un acople mecánico directo en el equipo motor y el equipo conducido, cuando existe desalineamiento.

- También se puede generar exceso de calor al interior de las válvulas de admisión (VDA)<sup>14</sup> y descarga de un equipo reciprocante, cuando existe recirculación del flujo a través de las mismas.

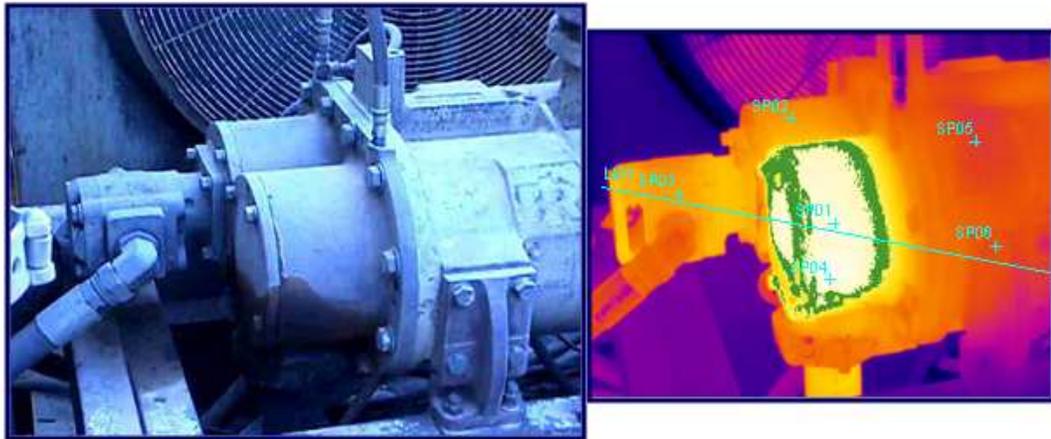


Figura 11: Imagen real y térmica de una válvula de admisión

- En tanques y ductos aislados, donde se almacenan o transportan productos que deban mantenerse a temperaturas diferentes a la ambiental, la Termografía permite la localización de puntos de intercambio de calor y constatar las condiciones generales del aislamiento térmico (AT)<sup>15</sup>, lo que se refleja directamente en la eficiencia del proceso.

---

<sup>14</sup> La válvula de admisión es: la encargada de dar pasó a la mezcla al interior de los cilindros abriendo o cerrando los conductos de los colectores de admisión. Se mantienen abiertas en el ciclo de admisión y cerradas en los tres restantes.

<sup>15</sup> **Aislamiento térmico** es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. Se evalúa por la resistencia térmica que tienen.

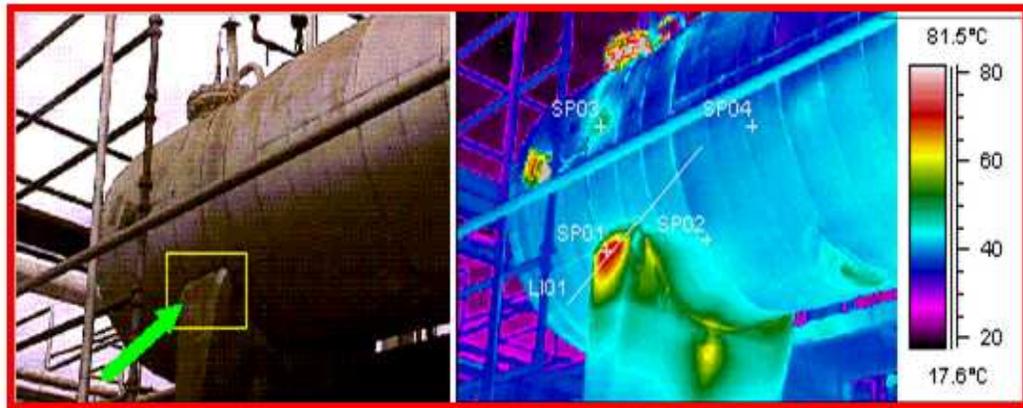


Figura 12: Imagen Real y Térmica de un horno Rehervidor

- Para determinar los niveles en tanques de almacenamiento o transferencia, es suficiente la observación de la diferencia de temperaturas establecida arriba y abajo del nivel del líquido. El nivel será fácilmente visible si el tanque estuviese calentado por el sol o si el producto almacenado tiene una temperatura diferente a la del medio ambiente.

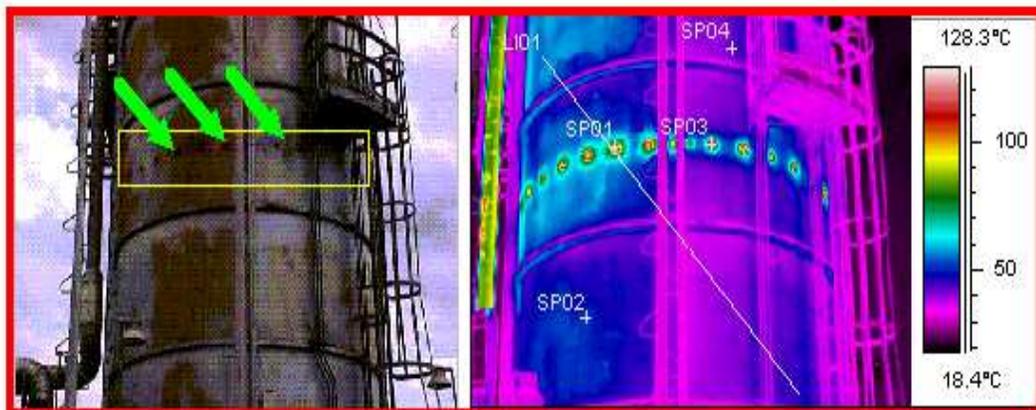


Figura 13: Imagen Real y térmica de un Horno Aceite caliente 2

### 3. ANALISIS DE TERMOGRAMAS

La técnica que extiende la visión humana a través del espectro infrarrojo es llamada Termografía. La termografía posibilita la obtención de imágenes térmicas remotamente, llamadas termogramas, los cuales permiten un análisis cualitativo para la determinación de niveles isotérmicos (NI)<sup>16</sup> y cuantitativos para la determinación precisa de temperaturas. Por medio de esta técnica es posible determinar la temperatura de objetos que estén quietos o en movimiento, a distancia, lo que es de gran importancia cuando altas temperaturas, cargas eléctricas y gases venenosos están presentes. Esta herramienta juega un rol muy importante en las labores de mantenimiento predictivo, ahorros de energía, protección de equipos y reducción de primas de seguros. La inspección termográfica se realiza con personal especializado y equipos de la más alta calidad. El resultado de esta inspección se entrega en un informe a color y en medio magnético, que contiene la descripción detallada del (los) elemento(s) que está(n) operando a temperaturas anormalmente altas o con distribución térmica no uniforme.

---

<sup>16</sup> Se denomina **nivel isotérmico** o **proceso isoterma** a la evolución reversible de un sistema termodinámico que transcurre a temperatura constante. La compresión o la expansión de un gas ideal en contacto permanente con un termostato es un ejemplo de proceso isoterma.

### **3.1 CLASIFICACION DE PARAMETROS EN LOS ESTUDIOS TERMOGRAFICOS**

Para poder comprender un estudio termográfico o termograma es necesario conocer la clasificación que los expertos en el tema le dan a cada uno de los parámetros que intervienen en dicho estudio de mantenimiento predictivo.

A continuación se evalúan teniendo en cuenta, aspectos como: la ubicación del equipo, clasificación de las zonas afectadas de acuerdo con su condición, la temperatura leída, la imagen térmica y digital del equipo descrito y algunas observaciones.

#### **3.1.1 TABLAS DE CLASIFICACIONES**

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. Ver tablas anexas en los grupos establecidos por tipo de conexión:

## Grupo A

Se incluyen todos los conductores y barras desnudas, contactos y conectores externos con aleaciones de aluminio, sin ningún tipo de material aislante ubicados a la intemperie. Su clasificación se define en términos de la temperatura leída en el momento de la inspección. La lectura se realiza directamente en el elemento fallado o analizado.

CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	RANGOS DE TEMPERATURA	ACCIÓN
BUENO	5	$0^{\circ}\text{C} \leq 64^{\circ}\text{C}$	Continuar con el plan de mantenimiento.
CUESTIONADO	4	$64^{\circ}\text{C} < T \leq 115^{\circ}\text{C}$	Hacer seguimiento y realizar análisis de estado y condiciones de operación.
MODERADO	3	$115^{\circ}\text{C} < T \leq 145^{\circ}\text{C}$	Programar para el próximo plan de desconexiones o ejecutar antes de 6 meses.
ALTO	2	$145^{\circ}\text{C} < T \leq 155^{\circ}\text{C}$	Ejecutar el mantenimiento correctivo inmediatamente si se va a superar la corriente promedio de los últimos seis meses. Ejecutar en el próximo plan de desconexiones en caso de que no superar la corriente promedio de los últimos seis meses.
CRÍTICO	1	$T > 155^{\circ}\text{C}$	Realizar el correctivo inmediatamente.

Tabla 2: Parámetros del Grupo A

## Grupo B

Se incluyen todos los contactos con aleaciones de cobre externos sin ningún tipo de material aislante y ubicado a la intemperie. Su clasificación se define en términos de la temperatura leída en el momento de la inspección. La lectura se realiza directamente en el elemento fallado o analizado.

CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	RANGOS DE TEMPERATURA	ACCIÓN
BUENO	5	$0^{\circ}\text{C} \leq 102^{\circ}\text{C}$	Continuar con el plan de mantenimiento.
CUESTIONADO	4	$102^{\circ}\text{C} < T \leq 184^{\circ}\text{C}$	Hacer seguimiento y realizar análisis de estado y condiciones de operación.
MODERADO	3	$184^{\circ}\text{C} < T \leq 232^{\circ}\text{C}$	Programar para el próximo plan de desconexiones o ejecutar antes de 6 meses.
ALTO	2	$232^{\circ}\text{C} < T \leq 248^{\circ}\text{C}$	Ejecutar el mantenimiento correctivo inmediatamente si se va a superar la corriente promedio de los últimos seis meses. Ejecutar en el próximo plan de desconexiones en caso de que no superar la corriente promedio de los últimos seis meses.
CRÍTICO	1	$T > 248^{\circ}\text{C}$	Realizar el correctivo inmediatamente.

Tabla 3: Parámetros del Grupo B

## Grupo C

Este grupo comprende equipos inmersos o que contienen aceite como son los transformadores de potencia y de medida, reactores, condensadores, bujes y algunos interruptores. Se ubican además en este grupo las subestaciones encapsuladas, transformadores de medida e interruptores aislados con SF<sub>6</sub><sup>17</sup>; también las barras protegidas con ductos metálicos en la salida de los generadores. La lectura se hace indirectamente pues el punto caliente interno transfiere el calor a través del medio aislante hacia la superficie externa.

CALIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	DIFERENCIA DE TEMPERATURA	ACCIÓN
BUENO	5	0°C	Continuar con el plan de mantenimiento.
CUESTIONADO	4	$1^{\circ}\text{C} \leq T \leq 3^{\circ}\text{C}$	Hacer seguimiento y realizar análisis de estado y condiciones de operación.
MODERADO	3	$3^{\circ}\text{C} < T \leq 10^{\circ}\text{C}$	Programar para el próximo plan de desconexiones o ejecutar antes de 6 meses.
ALTO	2	$10^{\circ}\text{C} < T \leq 16^{\circ}\text{C}$	Ejecutar el mantenimiento correctivo inmediatamente si se va a superar la corriente promedio de los últimos seis meses. Ejecutar en el próximo plan de desconexiones en caso de que no superar la corriente promedio de los últimos seis meses.
CRÍTICO	1	$T > 16^{\circ}\text{C}$	Realizar el correctivo inmediatamente.

Tabla 4: Parámetros del grupo C

---

<sup>17</sup> SF<sub>6</sub>: El Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>) es un gas inerte artificial que tiene excelentes propiedades de aislamiento, así como una estabilidad térmica y química excepcionalmente altas. Estas características le han conferido un amplio uso en interruptores tanto de Alta como de Media Tensión, mostrando en ambos casos un rendimiento y una fiabilidad muy elevados.

### EJEMPLO 1. BUJE DE TRANSFORMADOR DE POTENCIA

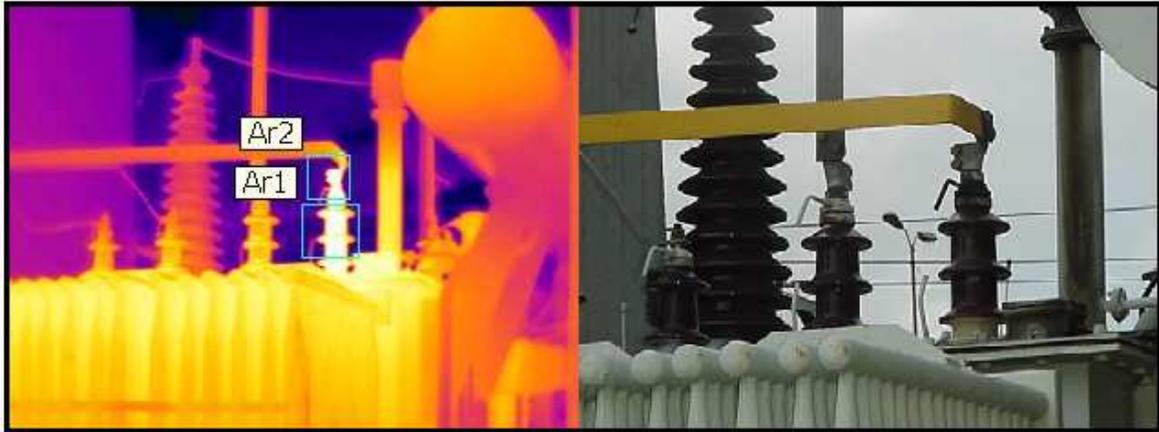


Figura 14: Imagen Térmica y Real de un banco de Transformadores

CARACTERISTICAS			
BAHIA	EQUIPO	ZONA AFECTADA	INFORMACION
Banco de transformadores. Modulo 2	Buje de 13.8 kV Fase T	Buje y conector.  Observaciones: presentan mayor temperatura de operación con respecto a los demás.	Clasificación: Alto Carga: 420 Amperios Temperatura: 63°C Diferencia: 11°C Referencia: 52°C

Tabla 5: Parámetros de Análisis térmicos

En el ejemplo anterior tenemos un banco de transformadores, que, de acuerdo a sus características constructivas pertenece al grupo C (elemento inmerso o que contiene aceite). Este equipo fue sometido a una estimación térmica para valorar su estado. En la Figura 14 se puede apreciar una intensidad de color diferente en el conector y buje de 13.8V de la fase T, lo cual nos indica una temperatura mayor con respecto a los demás bujes del equipo. La Tabla 5 nos muestra que tal dispositivo presenta una diferencia de temperatura de 11°C entre el valor de referencia y el valor medido, y en base a la información proporcionada en la Tabla 4, podemos apreciar que este dispositivo esta en clasificación ALTA, ya que los 11°C de diferencia se encuentran entre  $10^{\circ}\text{C} < T \leq 16^{\circ}\text{C}$ , rango propio de esta clasificación, lo cual nos indica que se deben tomar las medidas consignadas en la Tabla 4.

**EJEMPLO 2. PANEL DE ENFRIAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIA**



Figura 15: Panel de enfriamiento del transformador

<b>CARACTERISTICAS</b>			
<b>BAHIA</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>ZONA AFECTADA</b>	<b>INFORMACION</b>
Banco de transformadores. Modulo 2	transformador de 22 MVA	Panel de enfriamiento lado de 13.8 kV.  Observaciones: baja temperatura de operación en el panel de enfriamiento N° 3 lado 13.8 kV	Clasificación: Moderado  Temperatura: 47°C Diferencia: 7°C Referencia: 54°C

Tabla 6: Parámetros de Análisis térmicos

En este caso en particular la imagen térmica ilustrada en la figura 15, muestra un transformador de potencia, en el cual uno de los paneles de enfriamiento presenta una temperatura mas baja de lo normal. Si comparamos la diferencia de temperatura de la zona afectada (tabla 6) con los rangos que aparecen en la tabla 4 (equipos inmersos en aceite) encontramos que la falla esta clasificada en el nivel “moderado”, el cual recomienda programar el mantenimiento para el próximo plan de desconexiones o ejecutarlo antes de un tiempo de 6 meses.

### **3.2 EJEMPLOS DE APLICACIÓN**

Los siguientes Termogramas sirven como ejemplos ilustrativos y prácticos del estudio o análisis de las diferentes variables que intervienen en una evaluación térmica para el mantenimiento predictivo de los distintos equipos y dispositivos eléctricos.

### **3.2.1 TERMOGRAMA DE LA SUBESTACION ELECTRICA DE UNA PLANTA INDUSTRIAL**

A nivel industrial la inspección Termográfica permite evaluar los equipos industriales a distancias seguras, cuando situaciones de alto riesgo están presentes, permite evaluar la condición de estado de dichos equipos y sus conexiones sin necesidad de desenergizar o desconectar los mismos, por el contrario se requiere que los mismos están en condiciones normales de trabajo. Por esta razón se recomienda realizar la inspección cuando la planta del cliente se encuentre en plena producción, y debe iniciarse una vez los equipos se encuentren calientes y con su carga por encima del 50% de su capacidad nominal.

#### **3.2.1.1 ACOMETIDA 13.2 KV CORTA-CIRCUITOS DE ALIMENTACION**



Figura 16: Acometida 13.2 Kv de alimentación

Comentario de texto IR	Valor
Ubicación	Acometida 13.2 K.V.
Equipo	Cortacircuitos de alimentación.
Punto de la falla	Contactos inferiores, fases L1 y L2.
Fallo	Crítico
Recomendación	Reparación

Tabla 7: Acometida 13.2 Kv

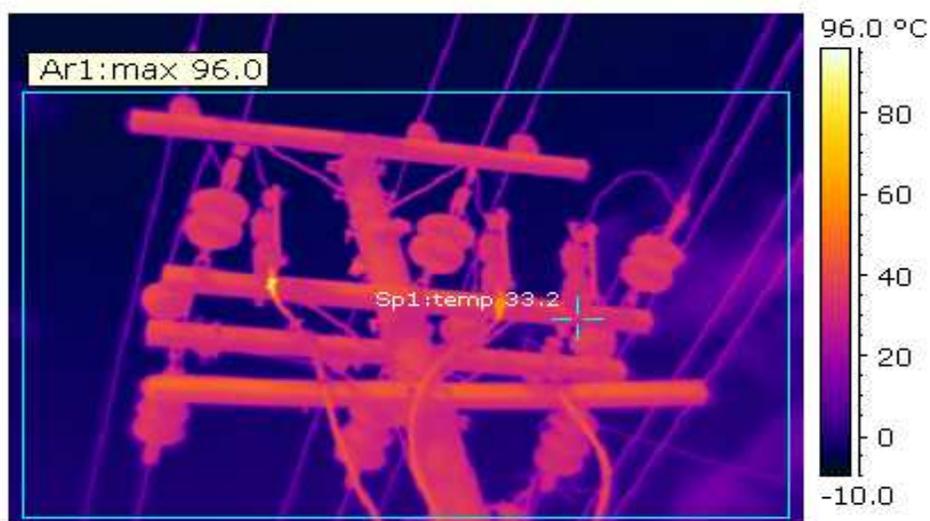


Figura 17: Termografía de Acometida 13.2 Kv

Parámetro de objeto	Valor
Emisividad	0,92
Distancia del objeto	10.0m
Temperatura atmosférica	33.0 °C
Humedad relativa	60.0 %
<b>Etiqueta</b>	<b>Valor</b>
Sp1	33.2 °C
Ar1: máx.	96.0 °C
Diff	62.8

Tabla 8: Termografía de acometida 13.2 Kv

**Análisis:**

El equipo a evaluar es el corta-circuito de una acometida de 13.2 V, el cual según la figura 17 (imagen térmica), muestra una coloración diferente (amarillo intenso), lo que nos indica que en ese punto existe una temperatura anormal, superior a los demás elementos según la escala térmica ilustrada en la figura 17.

Si se compara la diferencia de temperaturas entre el valor medido y la referencia, con los valores que arroja la tabla 4 (grupo C), tenemos que para 62.8°C, la falla del equipo es de clasificación “critica” lo que lleva a tomar las siguientes medidas o recomendaciones:

**Acciones Recomendadas:**

Desconectar e inspeccionar el estado de los terminales.

Limpiar las superficies y mejorar el área y la presión de los contactos.

Reconectar

Realizar otra termografía para verificación

### 3.2.1.2 SUBESTACION PRINCIPAL. TABLERO 220 Vac.

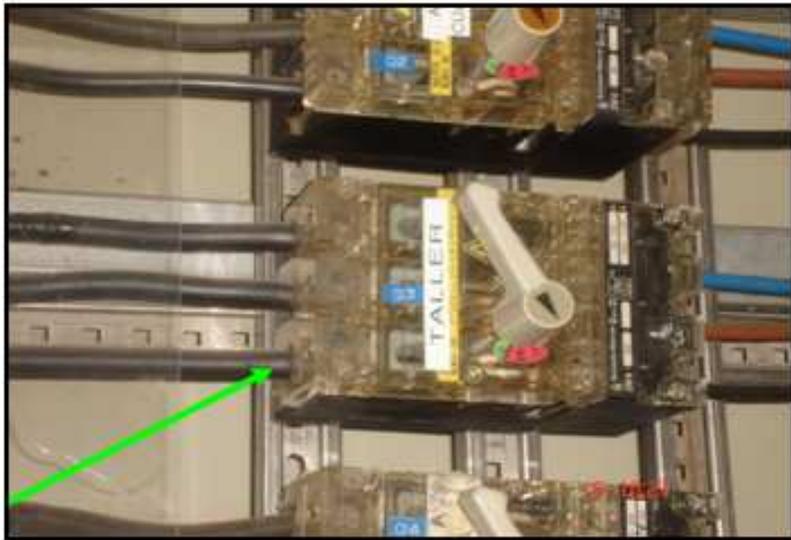


Figura 18: Sub. Estación principal Tablero de 220 Vac

<b>Comentario de texto IR</b>	<b>Valor</b>
Ubicación	Subestación principal. Tablero 220 Vac.
Equipo	Breaker Taller.
Punto de la falla	Borne de salida. fase L1.
Fallo	Moderado
Recomendación	Reparación

Tabla 9: Tablero de 220 Vac

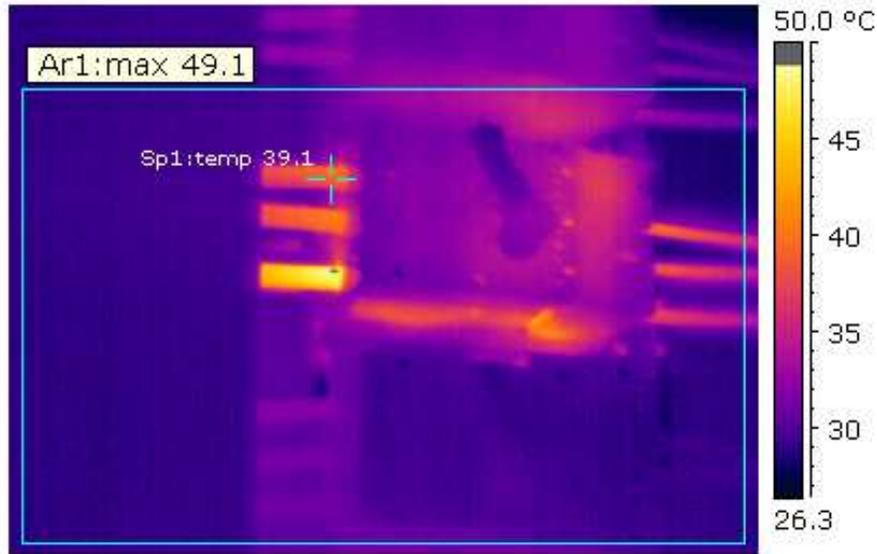


Figura 19: Termografía de Tablero de 220 Vac

Parámetro de objeto	Valor
Emisividad	0.94
Distancia al objeto	1.2 m
Temperatura atmosférica	28.0 °C
Humedad relativa	52.0 %
Etiqueta	Valor
Sp1	39.1 °C
Ar1: Máx.	49.1 °C
Diff	10.0

Tabla 10: Termografía de tablero de 220 Vac

### Análisis:

La figura 18 muestra un interruptor o breaker del tablero de 220V de la subestación principal. Al cual se le toma una imagen térmica para valoración de su estado (figura 19) en la cual se aprecia un punto caliente en tal dispositivo de

protección. La tabla 10 nos proporciona la diferencia entre la temperatura medida y la referencia del dispositivo, la cual es de  $10^{\circ}\text{C}$ , si se busca en el rango de temperaturas de la tabla 4 (grupo C) encontramos que para tal diferencia la clasificación del estado del equipo es del nivel “moderado”, lo que nos lleva a las siguientes recomendaciones:

- Desconectar e inspeccionar
- Limpiar y mejorar la presión de contacto
- Reconectar

### 3.2.1.3 SUBESTACION PRINCIPAL TABLERO DE MEDIA TENSION.

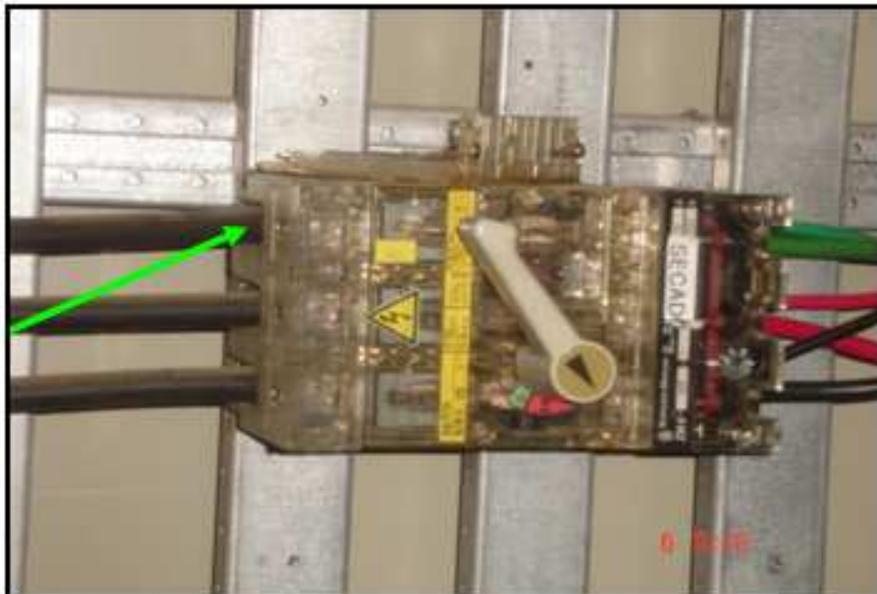


Figura 20: Tablero principal

Comentario de texto IR	Valor
Ubicación	Subestación principal. Tablero contra incendio y Lavandería.
Equipo	Breaker secadora. Armario 2.
Punto de la falla	Borne de entrada, fase L1
Fallo	Moderada
Recomendación	Reparación

Tabla 11: Tablero Principal



Figura 21: Termografía de Tablero principal.

Parámetro de objeto	Valor
Emisividad	0.90
Distancia al objeto	1.3 m
Temperatura atmosférica	27.0 °C
Humedad relativa	48.0 %
Etiqueta	Valor
Sp1	33.3 °C
Ar1: Máx.	42.4 °C
Diff	9.1

Tabla 12: Termografía tablero principal

### **Análisis:**

El equipo a evaluar es un breaker del tablero de media tensión (figura 20). Según la imagen térmica tomada al equipo, ilustrada en la figura 21, existen puntos calientes que superan la temperatura de referencia de tal dispositivo. En la tabla 12 encontramos el valor de esa diferencia, 9.1°C. Lo que nos lleva a buscar la clasificación en la tabla 4, y observamos que está ubicado en el rango de  $3^{\circ}\text{C} < T \leq 10^{\circ}\text{C}$ , clasificación “moderada”. Tenemos que seguir las siguientes indicaciones:

- Desconectar e inspeccionar
- Limpiar y mejorar la presión de contacto
- Reconectar
- Realizar otra termografía para verificación

#### **4.2.2 TERMOGRAMA DE UNA SUBESTACION ELECTRICA CONVENCIONAL**

En los siguientes ejemplos de Termogramas se presentan los resultados obtenidos en los trabajos de inspección termográfica realizados a los diferentes equipos de una subestación eléctrica convencional.

#### 4.2.2.1 SECCIONADOR DE POTENCIA



Figura 22: Imagen Térmica y real de un seccionador fase R



Figura 23: Imagen Térmica y real de un seccionador fase T

CARACTERISTICAS				
FASES	BAHIA	EQUIPO	ZONA AFECTADA	INFORMACION
R	Autotransformador lado 115 Kv	Seccionador 303 Fase R	Conector lado seccionador 328	Clasificación: Crítico Carga: 420 Amperios Temperatura: 345°C Referencia: 38°C
T	Autotransformador lado 115 kV	Seccionador 303 Fase T	Conector lado seccionador 328  Observación: La fase S, conector lado seccionador 328, presenta punto con calentamiento anormal con menor temperatura 92°C.	Clasificación: Crítico Carga: 420 Amperios Temperatura: 160°C Referencia: 38°C

Tabla 13: Características térmicas de 2 de las fases del seccionador

**Análisis:**

El equipo a evaluar es un seccionador de potencia en el cual se determinaran dos de las fases del equipo (Figura 22 y 23) que son la fase R y T, y se aprecian las características de cada uno de los puntos calientes (tabla 13).

Para la fase R, según la imagen tomada al equipo, ilustrada en la figura 22, existen puntos calientes que superan en gran magnitud la referencia del

dispositivo, tal como se puede apreciar en la tabla 13 , podemos decir que esta en un estado critico. Y de acuerdo a la tabla 3 (Grupo B):

CRÍTICO	1	$T > 248^{\circ}\text{C}$	Realizar el correctivo inmediatamente.
---------	---	---------------------------	--

Al igual que la fase R, la fase T (figura 23), en su imagen termográfica muestra un punto de menor temperatura, pero con calentamiento anormal de  $92^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto se encuentra también en estado crítico.

La medida que se tiene que optar es realizar el **correctivo inmediatamente** debido a que esta anomalía en un futuro podría generar deterioro y daños considerables. Por lo cual se procede a:

- Desconectar e inspeccionar, realizar maniobras de verificación
- Reconectar
- Realizar otra termografía para verificación

4.2.2.2 BAJANTES A SECCIONADORES (ANILLO 115 KV)

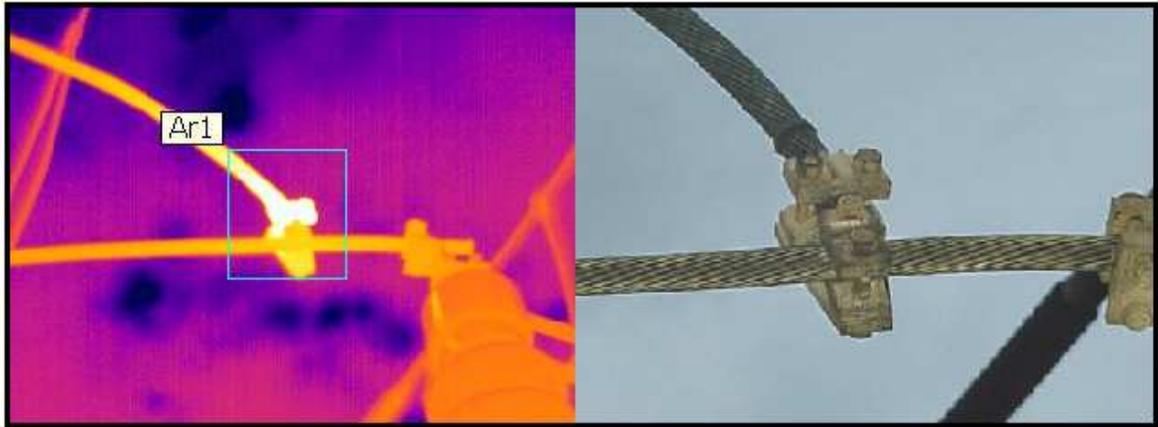


Figura 24: Imagen térmica y real de un bajante a seccionador fase R



Figura 25: Imagen térmica y real de un bajante a seccionador fase T

CARACTERISTICAS				
FASES	BAHIA	EQUIPO	ZONA AFECTADA	INFORMACION
R	Transformador N°1	Bajante a seccionadores 528 – 624 (Anillo de 115 kV)	Conector inferior en T del bajante en puente entre seccionadores.	Clasificación: Crítico Carga: 105 Amperios Temperatura: 175°C Referencia: 30
T	Transformador N°1	Bajante a seccionadores 528 – 624 (Anillo de 115 kV)	Conector inferior en T del bajante en puente entre seccionadores.	Clasificación: Moderado Carga: 105 Amperios Temperatura: 97°C Referencia: 30°C

Tabla 14: Características térmicas de un bajante a seccionador

**Análisis:**

El equipo a evaluar es el bajante a seccionador en el cual se determinaran dos de las fases del equipo (Figura 22 y 23) fase R y T, y se aprecian cada una de las características de los puntos calientes (tabla 13).

Para la fase R, figura 22, existen puntos calientes que superan en gran magnitud la referencia del dispositivo. Debido a que la temperatura medida es de  $175^{\circ}$  se puede decir que el elemento presenta un estado crítico (tabla 2)

CRÍTICO	1	$T > 155^{\circ}\text{C}$	Realizar el correctivo inmediatamente.
---------	---	---------------------------	--

Por consiguiente se procede a ejecutar el mantenimiento correctivo inmediatamente.

Por otro lado en la fase T, figura 23, se pueden observar puntos calientes que están por encima de la temperatura de referencia, exactamente en el rango de  $145^{\circ}\text{C} < T \leq 155^{\circ}\text{C}$ , lo que nos indica que se encuentra en un estado moderado. La tabla 2 recomienda programar un plan de desconexiones y así proceder al mantenimiento.

#### 4.2.2.3 SALIDA DE TRANSFORMADOR A BARRA PRINCIPAL DE 34.5 KV

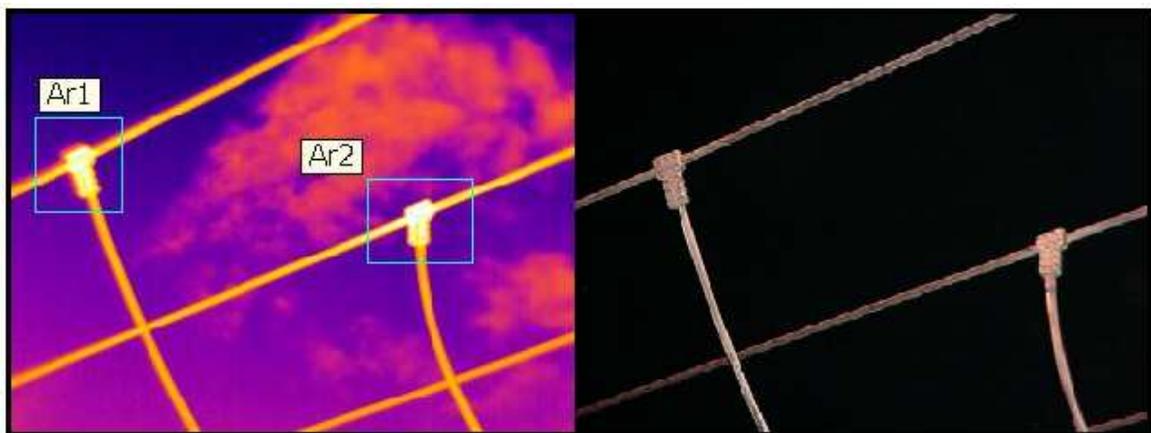


Figura 26: Imagen Térmica y Real de salida de trafo a barra principal

CARACTERISTICAS				
FASES	BAHIA	EQUIPO	ZONA AFECTADA	INFORMACION
S Y T	Transformador N°1 Lado 34.5 kV	Salida del transformador a barra principal de 34.5 kV	Conector superior en T en barra de 34.5 Kv	Clasificación: Cuestionado Carga: 345 Amperios Temperatura: 83°C Referencia: 28°C

Tabla 15: Características térmicas de bajante a seccionador

**Análisis:**

El equipo a evaluar es la salida de transformador a barra principal, en el cual se determinan dos de las fases del equipo, la fase R y T (figura 26), junto con sus características expuestas en la tabla 15 (temperatura leída y de referencia), de lo cual podemos concluir que el equipo se encuentra en un estado cuestionado, ya que la temperatura de 83°C esta dentro del rango de  $64^{\circ}\text{C} < T \leq 115^{\circ}\text{C}$ , propio de esta clasificación. Por tabla 2, se procede a programar un seguimiento y realizar análisis de estado y condiciones de operación

#### 4.2.2.4 INTERRUPTOR DE POTENCIA

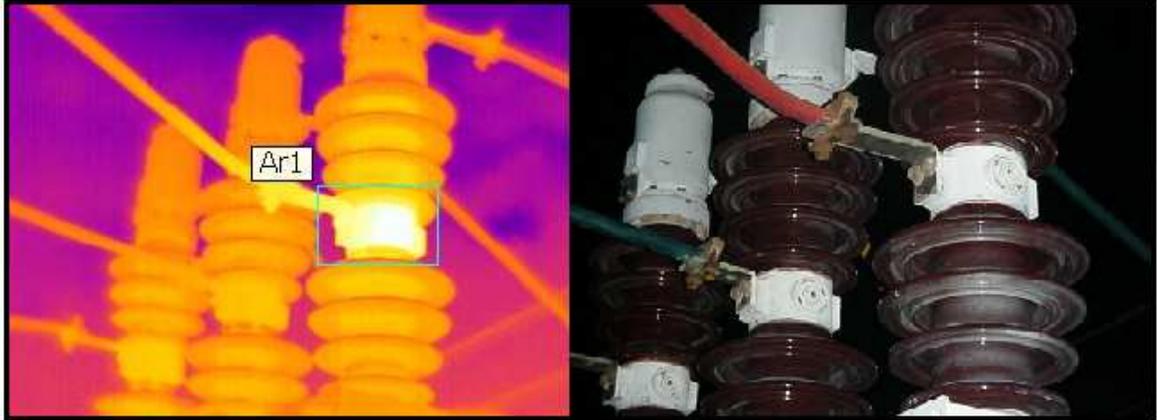


Figura 27: Imagen térmica y Real de un interruptor de potencia

CARACTERISTICAS				
FASES	BAHIA	EQUIPO	ZONA AFECTADA	INFORMACION
R	Celda N° 35 (34.5 kV)	Interruptor C35	Parte inferior en cámara de extinción	Clasificación: Crítico Carga: 70 Amperios Temperatura: 48°C Diferencia: 22°C Referencia: 26°C

Tabla 16: Características térmicas de un interruptor de potencia

#### Análisis:

Para el interruptor de potencia (figura 27), se hizo el análisis de una de las fases, la fase R, en donde observamos una diferencia de temperaturas de 22°C, por lo

que podemos concluir según tabla 4, que el interruptor se encuentra en un estado crítico.

CRÍTICO	1	$T > 16^{\circ}\text{C}$	Realizar el correctivo inmediatamente.
---------	---	--------------------------	--

Por consiguiente se procede a realizar el correctivo inmediatamente:

- Desconectar e inspeccionar
- Limpiar y mejorar la presión de contacto
- Reconectar

#### 4.2.2.5 TRAMPA DE ONDA

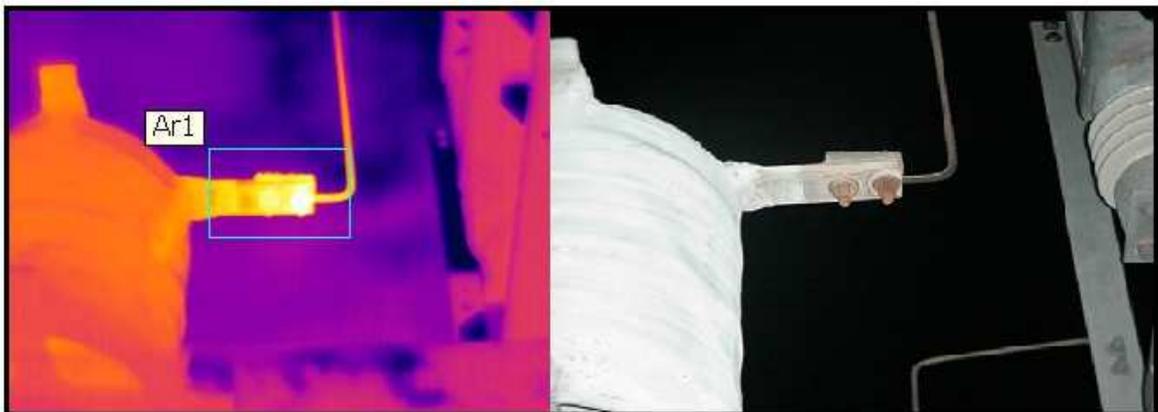


Figura 28: Imagen térmica y Real de una trampa de onda

CARACTERISTICAS				
FASES	BAHIA	EQUIPO	ZONA AFECTADA	INFORMACION
S	Banco de condensadores N <sup>2</sup> (13.8 kV)	Trampa de onda Fase S	Conector superior	Clasificación: Alto Carga: No Disponible Temperatura: 145°C Referencia: 37°C

Tabla 17: Características térmicas de una trampa de onda

**Análisis:**

La figura 28 muestra una trampa de onda al cual se le toma una imagen térmica para valoración de su estado (figura 28) en la cual se aprecia un punto caliente en tal dispositivo de protección. La tabla 17 nos proporciona la temperatura leída de 145<sup>0</sup>C y la de referencia de 37<sup>0</sup>C, si se busca en el rango de temperaturas de la tabla 2 (grupo A) encontramos que para tal magnitud la clasificación del estado del equipo es del nivel “alto”, lo que nos lleva a las siguientes recomendaciones:

Ejecutar el mantenimiento correctivo inmediatamente si se va a superar la corriente promedio en los seis meses, y ejecutar en caso de emergencia otro plan de desconexiones.

#### 4.2.2.6 CONDENSADOR FASE S

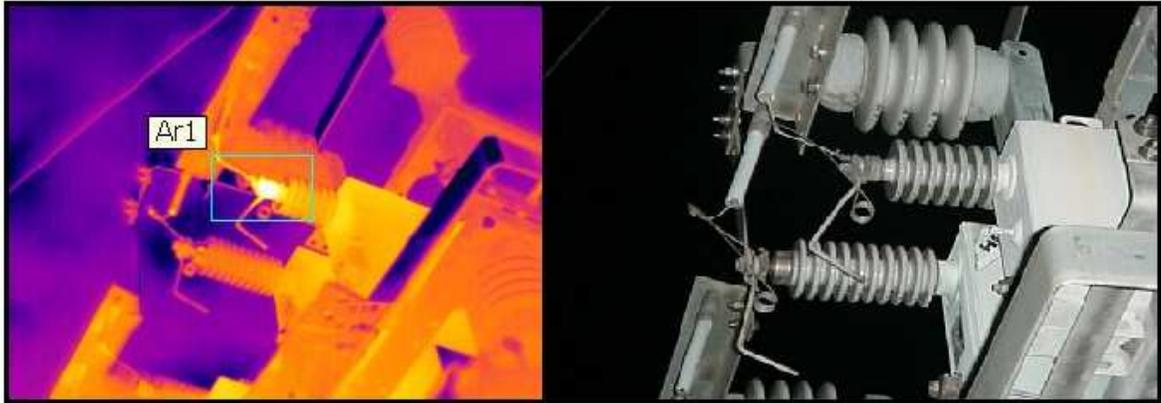


Figura 29: Imagen térmica y real de un condensador fase S

CARACTERISTICAS				
FASES	BAHIA	EQUIPO	ZONA AFECTADA	INFORMACION
S	Banco de condensadores N°2 (13.8 kV)	Condensador N°1 Fase S	Conector de alta. Se observan hilos rotos en el conductor.	Clasificación: Cuestionado Carga: No Disponible Temperatura: 65°C Referencia: 31°C

Tabla 18: Características térmicas de un condensador fase S

### **Análisis:**

El equipo a evaluar a continuación es un condensador, fase S (figura 29) a la cual se le toma una imagen térmica para valoración de su estado (figura 29) en la cual se aprecia un punto caliente en tal dispositivo de protección. La tabla 18 nos proporciona la temperatura medida, la cual es bastante grande en comparación con la de referencia del dispositivo, si se busca en el rango de temperaturas de la tabla 2 (grupo A) encontramos que para tal tipo de temperatura la clasificación del estado del equipo es del nivel “Cuestionado”, lo que nos lleva hacer un seguimiento y realizar el análisis de estado y condiciones de operación.

#### **4.2.2.7 CUCHILLA SECCIONADORA**

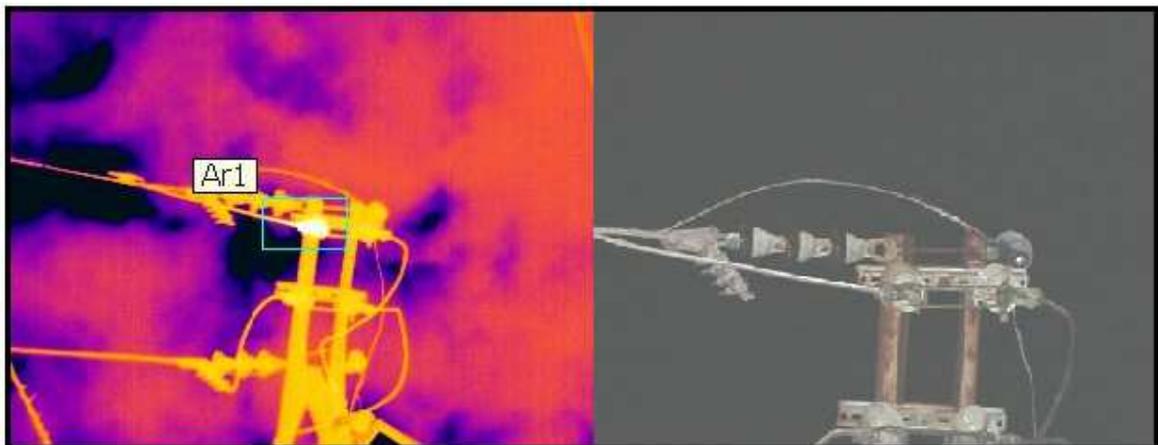


Figura 30: Imagen térmica y Real de una cuchilla seccionadora

CARACTERISTICAS				
FASES	BAHIA	EQUIPO	ZONA AFECTADA	INFORMACION
T	Salida de Celda C21	Cuchilla seccionadora	Conector lado línea	Clasificación: Moderado Carga: 95 Amperios Temperatura: 119°C Referencia: 27°C

Tabla 19: Características térmicas de una cuchilla seccionadora

**Análisis:**

La figura 30 muestra una cuchilla seccionadora a la cual se le toma una imagen térmica para valoración de su estado (figura 30) en la cual se aprecia un punto caliente en tal dispositivo. La tabla 19 nos proporciona nos muestra una temperatura medida de 119<sup>0</sup>C que es mucho mayor que la de referencia,, si se busca en el rango de temperaturas de la tabla 2 (grupo A) encontramos que para tal temperatura la clasificación del estado del equipo es del nivel “Moderado”, el cual comprende una diferencia de temperatura  $115^{\circ}\text{C} < T \leq 145^{\circ}\text{C}$ , y las siguientes recomendaciones: Programar para el próximo plan de desconexiones o ejecutar antes de seis meses.

#### 4.2.2.8 CUCHILLA SECCIONADORA 2

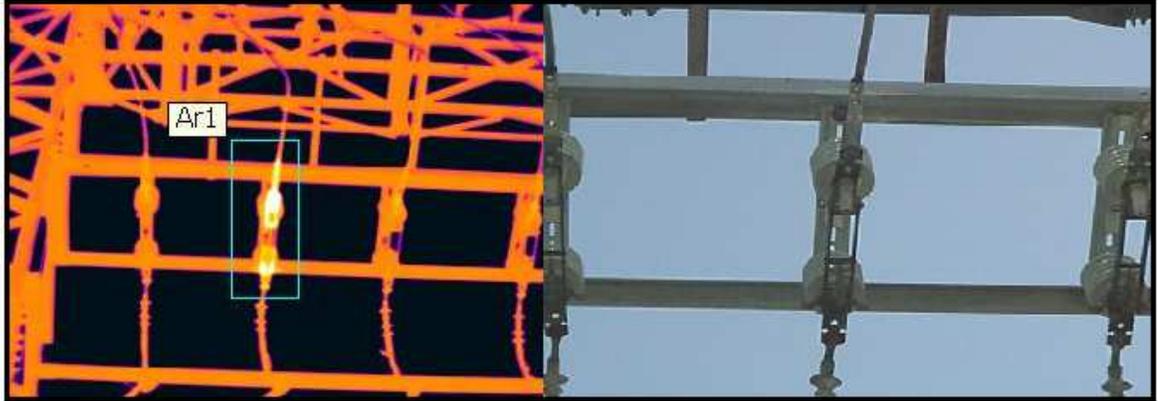


Figura 31: Imagen Térmica y real de una cuchilla seccionadora fase S

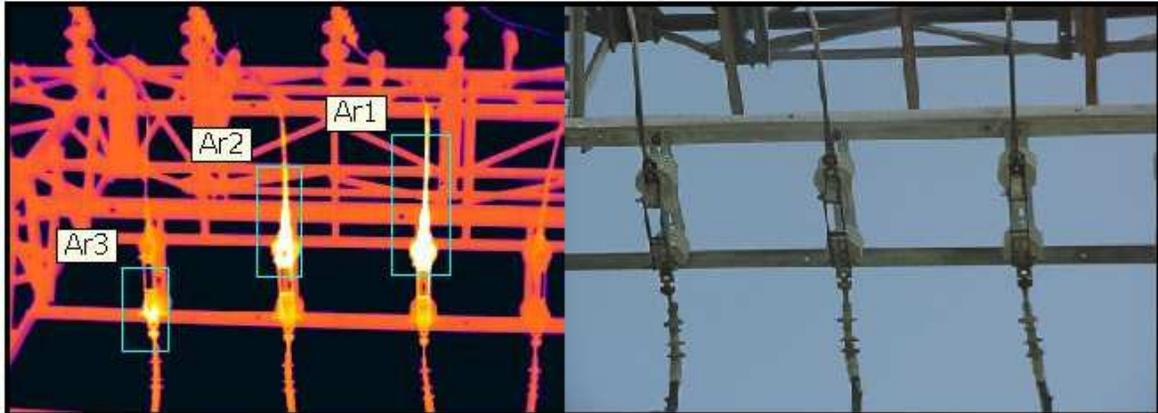


Figura 32: Imagen Térmica y real de una cuchilla seccionadora fase T

CARACTERISTICAS				
FASES	BAHIA	EQUIPO	ZONA AFECTADA	INFORMACION
S	Salida de Celda C49	Cuchilla seccionadora Fase S	Conector a ambos lados.	Clasificación: Moderado Carga: 95 Amperios Temperatura: 119°C Referencia: 27°C
R	Salida de Celda C54	Cuchilla seccionadora Fase R	Conector lado línea  Observación: La fase S, conector lado línea presenta punto con calentamiento anormal con menor temperatura 84°C. La fase T, conector lado mufa presenta punto con calentamiento anormal con menor temperatura 64°C.	Clasificación: <b>Crítico</b> Carga: 220 Amperios Temperatura: 198°C Referencia: 36°C

Tabla 20: Características térmicas de una cuchilla seccionadora 2

### Análisis:

El equipo a evaluar es otra cuchilla seccionadora, en el cual se determinaran dos de las fases del equipo (Figura 31 y 32) que son la fase R y S, y se aprecian las características de cada uno de los puntos calientes (tabla 20).

Para la fase S se muestra una imagen térmica para valoración de su estado (figura 31) en la cual se aprecia un punto caliente. La tabla 20 nos proporciona una temperatura supremamente alta de 119°C, en comparación con la de referencia, que según tabla 2 (grupo A), esta comprende a un estado moderado,

el cual recomienda programar para el próximo plan de desconexiones o ejecutar antes de 6 meses.

Para la fase R, según la imagen tomada al equipo, ilustrada en la figura 32, existen puntos calientes que superan en gran magnitud la referencia del dispositivo, debido a que la temperatura leída es muy superior a la temperatura de referencia, y ta como nos muestra la tabla 20. Este se encuentre en un estado crítico y se recomienda hacer el correctivo inmediatamente.

#### 4.2.2.9 INTERRUPTOR DE POTENCIA 2

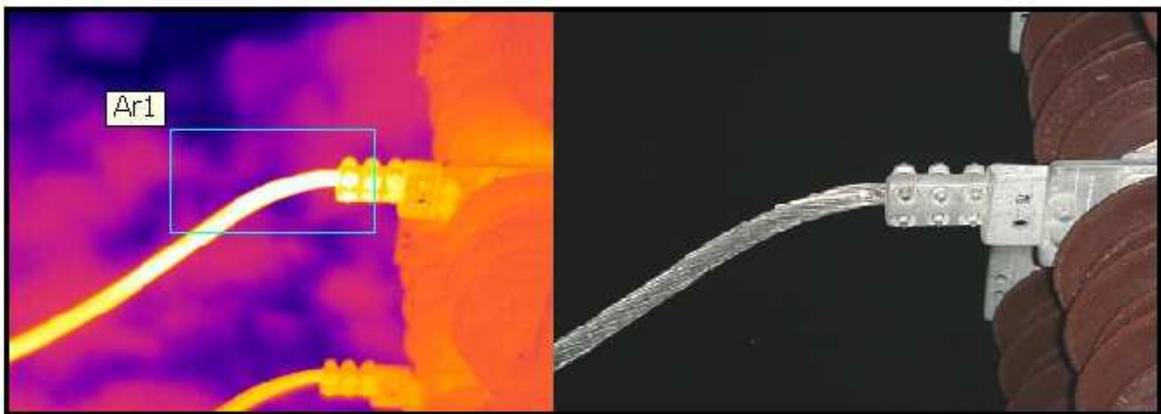


Figura 33: Imagen Térmica y Real del interruptor de potencia 2

CARACTERISTICAS				
FASES	BAHIA	EQUIPO	ZONA AFECTADA	INFORMACION
S	Transformador N°1 Lado 34.5 kV	Interruptor OT15 Fase S	Conector lado CT  Observaciones: El conductor de la fase S presenta hilos rotos. En la fase R, el conector lado CT presenta punto con calentamiento anormal con menor temperatura 63°C.	Clasificación: <b>Crítico</b> Carga: 690 Amperios Temperatura: 155°C Referencia: 41°C

Tabla 21: Características térmicas del interruptor de potencia 2

**Análisis:**

En la figura 33 se muestra los conductores de la fase S los cuales presentan daño en sus hilos, al cual se le toma una imagen térmica para valoración de su estado (figura 33) en la cual se aprecia un punto caliente en tal dispositivo. La tabla 21 nos proporciona la temperatura medida de 155 y la de referencia que es 41, lo que nos lleva a concluir que se encuentra en un estado crítico según el rango de temperaturas de la tabla 2 (grupo A) encontramos que para tal diferencia la clasificación del estado del equipo es del nivel “crítico”, y se recomienda hacer el correctivo inmediatamente.

**4.2.2.10 INTERRUPTOR 3 (PARTE INFERIOR DE LA CAMARA DE EXTINCION)**



Figura 34: Imagen Térmica y Real del interruptor de potencia 3

CARACTERISTICAS				
FASES	BAHIA	EQUIPO	ZONA AFECTADA	INFORMACION
T	Transformador de 22 MVA Modulo 2 Lado 34.5 kV	Interruptor OT21  Fase T	Parte inferior en cámara de extinción	Clasificación: <b>Crítico</b> Carga: No Disponible Temperatura: 56°C Diferencia: 28°C Referencia: 28°C

Tabla 22: Características térmicas del interruptor de potencia 3

### **Análisis:**

El equipo a evaluar es un interruptor de potencia, en el cual se determinó una fase del equipo (Figura 31 y 32) fase T, y se aprecian las características de cada uno de los puntos calientes (tabla 22). Para esta fase se muestra una imagen térmica para valoración de su estado (figura 34) en la cual se aprecia un punto caliente. La tabla 22 nos proporciona una diferencia de temperatura de  $28^{\circ}\text{C}$ , que según tabla 4 (grupo C), esta comprende a un estado "Crítico" y se recomienda hacer el correctivo inmediatamente.

#### **4.2.2.11 CONDENSADOR (CONECTOR EN BUJE DE ALTA)**

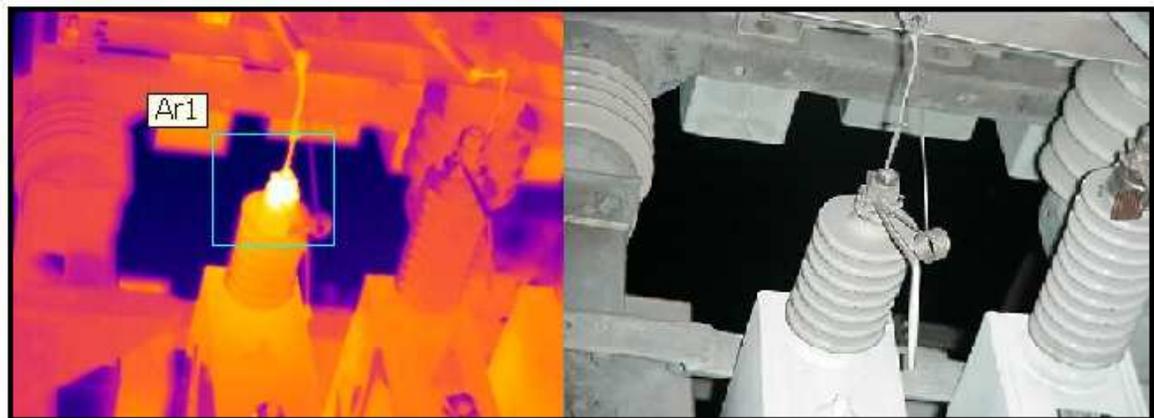


Figura 35: Imagen térmica y real del condensador

CARACTERISTICAS				
FASES	BAHIA	EQUIPO	ZONA AFECTADA	INFORMACION
T	Banco de condensadores N°2 (13.8 kV)	Condensador N°1 (lado bobina fase T)	Conector en buje de alta	Clasificación: Moderado Carga: No Disponible Temperatura: 127°C Referencia: 30°C

Tabla 23: Características térmicas del condensador

**Análisis:**

El equipo a evaluar es un condensador, mas específicamente analizaremos el conector en buje de alta, en el cual se determino una fase del equipo (Figura 35) fase T, y se aprecian las características de cada uno de los puntos calientes (tabla 23). Para esta fase se muestra una imagen térmica para valoración de su estado (figura 35) en la cual se aprecia un punto caliente. La tabla 23 nos proporciona una temperatura de 97°C, que según tabla 2 (grupo A), esta comprende a un estado “Moderado” y se recomienda programar un plan de desconexiones o ejecutar antes de seis meses.

#### **4. EQUIPOS QUE SE UTILIZAN EN LA TERMOGRAFIA**

Existen diferentes equipos o cámaras utilizadas por los termógrafos para tomar imágenes que muestren o valoren el estado actual de los equipos a evaluar. Esta imagen muestra lo que en un futuro puede convertirse en una avería considerable que ocasione daños irreparables y costosos. A continuación se muestran diferentes cámaras termográficas

##### **4.1 TERMOMETRO INFRAROJO RT8A**



Figura 36: Termómetro Infrarrojo RT8A

El nuevo termómetro infrarrojo RT8A de Land Instruments International es robusto y proporciona una medida de temperatura fiable de materiales en movimiento y objetos inaccesibles sin contacto y en ambientes hostiles de producción. Medir la temperatura de esta forma mejora la calidad, ahorra energía y optimiza la producción sin contaminar, dañar o interferir en el proceso o el material.

Existen dos modelos que cubren temperaturas de funcionamiento de 0 a 500°C. Es un termómetro de 2 hilos apto para una amplia variedad de OEM<sup>18</sup> y usuarios finales en un amplio rango de industrias como asfalto, mineral, vidrio, papel, alimentación, plásticos y textil.

Tiene una protección IP65/NEMA 4X que se puede complementar con una purga y camisa de refrigeración opcionales. Disponibilidad de accesorios de montaje del Sistema 4 que facilitan su instalación en el punto óptimo del proceso. El termómetro RT8A está diseñado para integrarse directamente mediante lazo de 4-20mA de 2 hilos de 4-20mA para su monitorización y control. Asegura medidas de temperatura fiable, precisa y repetitiva con un tiempo de respuesta que es ajustable entre 1 y 10seg. Precisión <0.5% del rango; y mínima deriva por cambio de temperatura ambiente de  $\leq 1.5^{\circ}\text{C}$  por  $10^{\circ}\text{C}$ .

---

<sup>18</sup> **OEM** (abreviatura del inglés *Original Equipment Manufacturer*, en español sería Fabricante de Equipos Originales). Empresas o personas que adquieren dispositivos al por mayor para ensamblar computadoras o equipos de forma personalizada que presentan con su propio nombre.

## 4.2 CAMARA TERMOGRAFICA DE ALTAS PRESTACIONES



Figura 37: Cyclops TI 814

La última cámara de termografía portátil de Land Instruments International, es el instrumento perfecto con el que identificar y cuantificar problemas térmicos en planta, a un precio casi la mitad del de cualquier otro equipo comparable. La nueva Cyclops TI 814 es una cámara de altas prestaciones con un detector 320 x 240 que permite la captura de imágenes de alta resolución dentro de un rango de temperatura de  $-20$  a  $500^{\circ}\text{C}$ , con opción de un rango extendido hasta  $1500^{\circ}\text{C}$ . Imágenes térmicas y ficheros de sonido se graban en una tarjeta de memoria Compactflash y se pueden transferir a PC para su posterior manipulación, análisis y generación de informes.

Además de la supervisión en planta, la Cyclops TI 814 se puede utilizar para la inspección integral de estructuras, control de calidad e investigación y desarrollo. de la cual se puede aprovechar muchas industrias

### 4.3 TERMOMETROS INFRAROJOS SIEMPRE A MANO



Figura 38: Termómetro Infrarrojo a mano

La nueva gama de termómetros son sencillos y fáciles de utilizar y proporcionan una rápida y exacta medida de temperatura puntual sin contacto. Para una amplia gama de aplicaciones, como proceso y preparación de alimentos, fabricación de componentes mecánicos, electrónicos, mantenimiento preventivo, construcción, energía, condiciones de monitorización en cualquier industria. Todos los modelos utilizan la última tecnología láser que establece y define claramente el área de medida, y son lo suficientemente pequeños como para llevarlos en un bolsillo.

Pocketherm 30 con un rango de  $-40$  a  $400^{\circ}\text{C}$  y una precisión del  $\pm 1\%$ , incorpora un sistema de enfoque laser circular para definir el área de medida de  $70$  mm a  $1$  m de distancia. Apunta el termómetro, presiona el botón y lee la temperatura en el display LCD retroiluminado automáticamente en condiciones de baja luz u oscuridad.

#### 4.4 CAMARA FLIR Therma Cam P65



Figura 39: Camara FLIR Therma Cam P65

La ThermaCam P65 es los sistemas de inspección infrarroja mas altamente refinado que existe en la actualidad. Sus nuevas y potentes funciones, así como sus comodidades permiten a los profesionales en Termografía trabajar con una eficiencia y productividad sin precedentes. Entre las características que presenta la cámara se tiene: Alta sensibilidad Térmica, medición precisa de temperatura, excelente calidad de imágenes térmicas, almacenamiento de imágenes en JPG, memoria desmontable CompactFlash tm<sup>19</sup>, Sistema óptico intercambiable, laser integrado LocatIR tm, Iluminación de objetivos integrados LED

---

<sup>19</sup> La tarjeta CompactFlash™ Xs es una tarjeta de memoria ultrarrápida para el uso profesional. Ofrece una velocidad de escritura y de lectura de 35X y 41X, respectivamente, y permite a todos los profesionales y apasionados de la fotografía digital hacer fotografías instantáneas reduciendo el tiempo de toma fotográfica entre exposiciones.

## **CONCLUSIONES**

El futuro de la termografía infrarroja es muy brillante y las oportunidades parecen ser ilimitadas. A diferencia de otras técnicas no destructivas de análisis, la termografía infrarroja es generalmente visible, inmediata y fácil de ver y explicar. Estas son las grandes ventajas cuando tratamos de obtener fondos para aplicaciones experimentales tales como mejoramiento de procesos e investigaciones. Obtener una foto que el administrador de la planta pueda entender (generalmente este es una persona con limitada comprensión de ingeniería) puede ser el vínculo necesario dentro del proceso de aprobación.

Con el fin de disminuir los elevados costos que producen tanto los mantenimientos correctivos como los preventivos, sin mencionar la complejidad de la reparación y desmonte de los dispositivos, y parada de producción de determinado proceso o maniobra realizado por los distintos equipos de potencia de una subestación convencional, se hace de vital importancia la aplicación de la termografía infrarroja para la realización de los mantenimientos predictivos, los cuales pueden detectar fallas a priori, evitando así, la parada del servicio, siniestros, y pérdida de dinero.

Entre las principales ventajas de la termografía cabe señalar:

(1) Los sensores no hacen contacto con el objeto, lo cual nos permite medir, desde una distancia de seguridad, altas temperaturas o bien registrar las temperaturas de una línea de alta tensión.

(2) Los sensores presentan un tiempo de respuesta muy pequeño a la radiación térmica incidente, lo cual permite una medida cuasi-instantánea.

(3) El sistema de barrido óptico que incorporan los sistemas de termografía, permite obtener una imagen termográfica (o termograma) en tiempo real, lo cual nos permite inspeccionar grandes extensiones, y grabar en un soporte magnético la imagen de interés. La imagen termográfica registrada puede analizarse a posteriori, para tratarla con un software adecuado. De este modo podemos ver con claridad las zonas anormalmente "calientes" o "frías".

Para el termógrafo infrarrojo, el mundo es un radiador gigante. La transferencia de energía ocurre en todas partes a nuestro alrededor y lo podemos ver con ojos que nadie más tiene. Es el reto que hoy en día tiene las industrias y es el de explorar nuevos mercados, mejorar nuestra metodología de obtención y disseminación de datos en una forma efectiva y eficiente y encontrar nuevos usos de esta fantástica tecnología.

## BIBLIOGRAFIA

- **Radu Pullido, Salim** “Mantenimiento Predictivo: Termografía”, capítulo 1 “Tipos de Mantenimiento predictivo”, Person Education, Prentice Hall. 1999

*Información consultada:*

Tipos de Mantenimiento predictivo.

### ❖ INTERNET:

- <http://www.landinst.es/infrarroja/novedades/press.htm>

*Información consultada:*

Equipos que se utilizan en las termografías

- <http://www.monografias.com/trabajos17/mantenimiento-predictivo/mantenimiento-predictivo.shtml#INTRO>

*Información consultada:*

Técnicas aplicadas al mantenimiento predictivo y Análisis de lubricantes

- <http://www.construsur.com.ar/Article239.html>

*Información consultada:*

Fundamentos de mantenimiento predictivo a través de la termografía infrarroja.

- [http://www.aloj.us.es/optico/notas\\_tecnicas/Mto\\_Pred\\_Planta\\_Proceso.pdf](http://www.aloj.us.es/optico/notas_tecnicas/Mto_Pred_Planta_Proceso.pdf)

MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y DIAGNOSIS DE FALLO, Manuel Camilo Melo.

*Información consultada:*

Que es la Termografía

- [http://www.aloj.us.es/optico/notas\\_tecnicas/Introduccion\\_a\\_las\\_Tecnicas\\_de\\_Diagnosis\\_y\\_Mantenimiento\\_Preventivo.pdf](http://www.aloj.us.es/optico/notas_tecnicas/Introduccion_a_las_Tecnicas_de_Diagnosis_y_Mantenimiento_Preventivo.pdf)

INTRODUCCION A LAS TECNICAS DE DIAGNOSIS Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO, Efren Borrego Amador, Sevilla- Septiembre 2007.

*Información consultada:*

Objetivo, ventajas y estrategias de implementación del mantenimiento predictivo.

- **Termografía aplicada al mantenimiento de instalaciones eléctricas y mecánicas.**

INFRATER, ingeniería y termografía, Barranquilla – Colombia.

*Información Consultada:*

Aplicaciones en instalaciones eléctricas y mecánicas, criterio de análisis para sistemas eléctricos y factores que inciden en un análisis termográfico.

- [http://www.insatecsl.com/la\\_termografia.htm](http://www.insatecsl.com/la_termografia.htm)

La termografía

*Información consultada:*

Historia de la Termografía

- <http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/docs/signals/termografiappt.pdf>

IMÁGENES POR MEDIO DE RADIACION INFRAROJA Y TERMOGRAFIA

*Información Consultada:*

Termografía, Magnitudes y unidades de la termografía.