



## **Conferencia Latinoamericana de Gestión de Mantenimiento Confiabilidad Operacional (GMC 2005)**

**Ronaldo López Serrazina**  
**Analista de Sistemas Eléctricos**  
**Consultora ROLOP**

Identificación

### **LA TERMOGRAFÍA APLICADA A SISTEMAS ELECTRICOS, COSTOS Y CASOS**

El hoy por hoy, el uso de la energía eléctrica se hace imprescindible sobre todo para los procesos industriales. Por lo tanto, la detección a tiempo de cualquier anomalía es vital para asegurar el suministro y por ende la disponibilidad de esos equipos.

La Compañía, dispone de un completo sistema de monitoreo de los equipos eléctricos mediante la técnica termográfica, para asegurar la continuidad de sus procesos productivos. Esta estrategia, relacionada con el Mantenimiento Predictivo se aplica a sistemas eléctricos tan diversos como:

- Sistemas Eléctricos de Palas Electromecánicas
- Líneas de Distribución/Transmisión
- Sub Estaciones Transformadoras
- Motores Eléctricos
- Accionamientos eléctricos de diversos tipos.

Objetivos:

El objetivo de este trabajo es mostrar, desde el punto de vista técnico-económico el impacto que ha producido la aplicación de esta estrategia de Mantenimiento Predictivo, como también, pretende mostrar casos prácticos evaluados con esta técnica.

Desde esta perspectiva se han considerado los siguientes aspectos:

- Comparación de Tasas de Falla (MTBF)
- Comparación de costos de mantenimiento y reparaciones (M&R)



## **Introducción:**

### **Análisis Termográfico o Termografía:**

Se denomina Análisis Termográfico o Termografía a la técnica que posibilita a la visión humana poder ver en el espectro infrarrojo. Las imágenes térmicas obtenidas mediante la Termografía, se denominan termogramas. Estos permiten un análisis cualitativo y cuantitativo para determinar en forma precisa la temperatura. Por medio de esta técnica, objetos estacionarios o en movimiento pueden ser evaluados térmicamente a distancias seguras, lo cual cobra importancia cuando existen altas temperaturas, cargas eléctricas, gases venenosos o humos, etc.

Los sistemas hasta mediados de la década del 60', necesitaban de tiempos próximos a los diez minutos para la formación de una imagen térmica, lo que los limitaba a objetos fijos y distribuciones de temperatura más o menos estables.

En 1965 se introduce el primer equipo capaz de formar imágenes térmicas en tiempo real, tanto de objetos fijos como móviles, a partir de entonces y en especial en la década del 70', la Termografía se afirmó como una técnica poderosa y de enorme confiabilidad.

### **Conceptos Generales**

La porción infrarroja dentro del espectro electromagnético fue señalada por William Herschel en 1800. Dedicado a la astronomía, intentaba encontrar que filtro era el más adecuado para realizar observaciones solares, esto es, el que produjera el menor calentamiento y por lo tanto el menos dañino al ojo. Utilizando prismas y termómetros sensitivos de mercurio, noto que al desplazar estos últimos desde el extremo violeta al extremo rojo del espectro, el efecto calórico se incrementaba. Al continuar trasladando el termómetro más allá del rojo, observo, no sin sorpresa, aun mayor incremento de temperatura, este "calor oscuro", como lo llamo Herschel, es lo que hoy conocemos como "infrarrojo".

La banda del infrarrojo se extiende desde 0.75 micrones hasta aproximadamente 100 micrones de longitud de onda, y se divide arbitrariamente en 4 zonas:

- Infrarrojo cercano (0.75-3 micrones)
- Infrarrojo medio (3-6 micrones)
- Infrarrojo lejano (6-15 micrones)
- Infrarrojo extremo (15-1000 micrones)

Normalmente los detectores infrarrojos para uso industrial y médico, trabajan en las bandas de 3-5.6 micrones (onda corta) y de 8-14 micrones (onda larga). En estas zonas aumenta la energía recibida por el detector (en condiciones de comparación similares) puesto que la atenuación atmosférica es baja ("ventanas atmosféricas").

Un concepto importante a tener en cuenta es el llamado coeficiente de Emisividad (E). Supongamos que un cuerpo que recibe energía infrarroja de una fuente; del total de la energía que llega al mismo, parte la puede absorber, parte la puede transmitir y parte la puede reflejar:



En términos sencillos la emisividad es la capacidad relativa de un material para radiar energía. Kirchoff demostró que el coeficiente de absorción y el coeficiente de emisividad son iguales. El llamado "cuerpo negro" tiene  $E = 1$ , o sea, emite toda energía que recibe.

La denominación cuerpo negro es engañosa, ya que no se refiere al color en sí, sino al tipo de material y su terminación superficial. Los materiales que más se aproximan al cuerpo negro son el carbón, el asbesto, el caucho, y en general todos los compuestos orgánicos y materiales no metálicos, con superficies rugosas y altamente absorbentes. Los metales altamente pulidos son malos cuerpos negros y buenos reflectores, poseyendo baja emisividad. Cuando están oxidados, su emisividad puede llegar a aumentar hasta diez veces.

Un material que emite menos energía que el cuerpo negro y con la misma distribución espectral, se denomina "cuerpo gris". Si, por ejemplo, la emisividad de dicho cuerpo es  $E = 0.8$ , significa que el 80% de la energía es absorbida por el material, comparada con el cuerpo negro a la misma temperatura; el 20% restante es reflejado fuera de la superficie, no aportando al incremento de calor. Vemos entonces, que si no se hace una corrección por emisividad, el equipo detector recibirá la información de energía como si la misma fuera emitida por el cuerpo en función de su temperatura, lo cual es cierto desde el momento en que el 20% es reflejado.

### Aplicaciones de la Termografía

A partir del momento en que estos equipos operan con una sensibilidad de  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  Para una temperatura ambiente de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , esto permite una cantidad de aplicaciones de las que limite es la imaginación de la que los usa y opera:

**En astronomía**, para el análisis de estrellas en formación, nubes de gas, distribución térmica en cuerpos del sistema solar.

**En monitoreo remoto**, para obtener información sobre recursos terrestres mediante el uso de sistemas infrarrojos montados en satélites.

**En medicina**, para la detección precoz del cáncer de mama, aportando al diagnóstico combinado valiosa información que hoy permite tener un 80% aproximadamente en la certeza del diagnóstico; también se usa en problemas de irrigación vascular, control de operaciones con rayo láser, etc.

**En la industria**, para inspecciones y mantenimiento preventivo, extendiendo su aplicación al uso racional de la energía: siderúrgicas, petroquímicas, cementeras, compañías de electricidad, papel, vidrio, etc., son parte de una lista incompleta donde la Termografía se ha impuesto como técnica imprescindible de control.

### Inspecciones Termográficas De Instalaciones Eléctricas

En la industria eléctrica, la detección de un componente defectuoso se basa en la elevación anormal de su temperatura en función del aumento de resistencia óhmica debido a oxidación, corrosión o falta de contacto.



De esta forma, el componente defectuoso aparecerá en la imagen térmica como un punto caliente comparado con el ambiente o bien con componentes similares en buen estado. La detección precoz de estas fallas puede evitar la interrupción del abastecimiento de energía eléctrica, lo cual sería grave no solo desde el punto de vista económico, sino también por los perjuicios sociales que acarrea.

Los componentes mas frecuentes inspeccionados son: Conectores, fusibles, interruptores, transformadores de tensión y de corriente, maquinas rotativas, desviadores, estatores de generadores, etc.

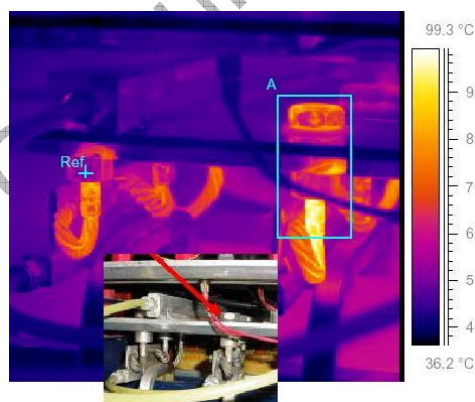
Con la Inspección Termográfica se establece que elementos necesita repararse y cuando, de esta manera, es posible realizar un programa efectivo de mantenimiento, adquirir los insumos necesarios con anticipación y distribuir el trabajo para cuando llegue el momento de la intervención.

#### Diferentes anomalías en Instalaciones Eléctricas

La cámara infrarroja detecta solamente aquellas fallas que ocasionen algún tipo de diferencia de temperatura, generada por efecto joule.

#### Elementos Semiconductores en Convertidores Estáticos

En la Figura 01 se muestra una sección de un convertidor estático, se puede apreciar que uno de los semiconductores tiene una temperatura superior a la normal.



**Figura 01 Semiconductor con alta temperatura.**

Pareciera una soldadura en la conexión del conductor flexible, se ha visto en varias oportunidades, aunque hay que tener cierto cuidado con los reflejos, pues la superficie es metal desnudo y puede indicar una falsa lectura.

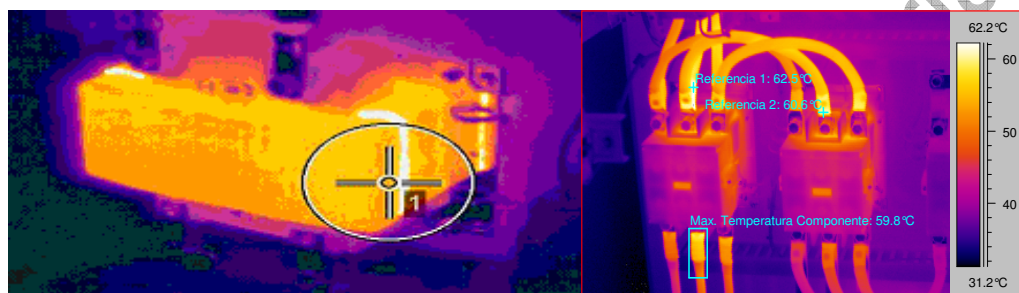
La manera de verificar es desmontar uno a uno y verificar con un voltímetro el estado de cada elemento semiconductor, es cierto que la revisión de los elemento toma su tiempo, pero la idea es no normalmente revisar todos los elementos sino solamente aquellos que aparentemente presentan falla.



## Termografía En Centro De Control de Motores (CCM)

Cuando se inspeccionan los CCM, normalmente se trabaja en base a comparación e historial de tendencias promedio, en ocasiones la temperatura de la bobina que mantiene los contactos cerrados disipa mucho calor y este calor lo detectamos indirectamente, ahí puede existir un error de medición.

Respecto a las altas temperaturas en bobinas núcleos de contactores y reles, según la experiencia, es prioritario mantener una temperatura ambiental en la sala de eléctrica de 20 a 26 °C, sobre estos niveles los CCM deben poseer algún sistema de refrigeración o ventilación.



**Figura 02. Contactor electromagnético con alta temperatura.**

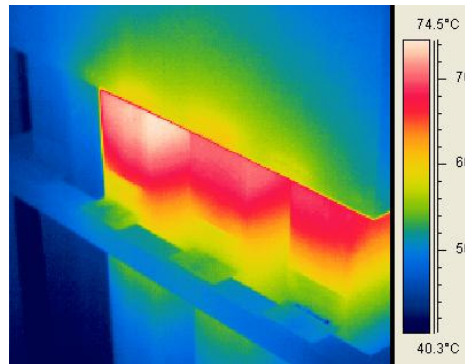
En la Figura 02, se observa que el núcleo de la bobina está a una temperatura normal 50-80 °C y el entrehierro que se ve ahí está calentado por simple inducción, lo más indicado en estos casos es realizar un seguimiento y luego comparar el comportamiento.

Para este caso en particular, después del seguimiento por 6 meses, el contactor trabajando en forma normal, la temperatura del entrehierro se mantuvo llegando a alcanzar un máximo de 145°C. La razón es que por inducción hay recalentamiento en el entrehierro. Por lo tanto, no se puede colocar un máximo general si no que evaluar después de un seguimiento, cual es la temperatura máxima para cada equipo en particular. Hay veces que en estos contactores no existe alta temperatura pero si existe ruido fuerte, llegando a reventar el contactor.

En los arrancadores frecuentemente se escucha un zumbido en ocasiones es normal debido a inducción, en otras ocasiones puede ser un problema de origen mecánico.

Algunos arrancadores magnéticos se ensucian y además el resorte interno de los contactos por efecto de la temperatura se fatiga, haciendo que el resorte pierda su resistencia mecánica o se ablande (factor K), en estos casos un servicio de limpieza y un estiramiento manual al resorte para revivir su fuerza ayudará por algún tiempo hasta que de nuevo se fatigue, requiriendo su reemplazo.

## Etapa Dañada En Banco Condensadores

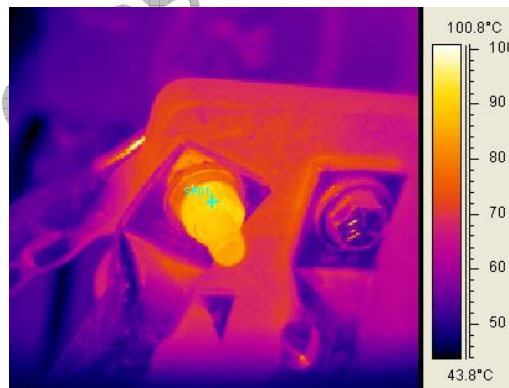


**Figura 03. Condensador de potencia con lata temperatura.**

Lo primero que se tiene que tener en cuenta al revisar una etapa dañada en un banco de condensadores, es el estado de los fusibles de protección o interruptores termomagnéticos de los condensadores, de haber uno dañado, el contactor correspondiente se encontrará abierto. Si todo lo anterior no es posible, entonces recurrir a la pinza amperimétrica para determinar las cargas, para este caso en particular, se detecto uno de los fusibles dañados.

### Conexión De Transformador

En la Figura 04, se muestra una termografía a una parte del conexionado d un transformador, posteriormente se determino que existía un perno suelto en el conexionado.



**Figura 04. Conexión de transformador con alta temperatura.**

La mayor temperatura se presenta sobre el perno, dado que la mayor corriente circula a través del mismo, es decir el contacto entre barra y terminal presenta mayor resistencia y la corriente elige pasar por el perno y entrar por la otra cara del terminal, porque le resulta más cómodo.

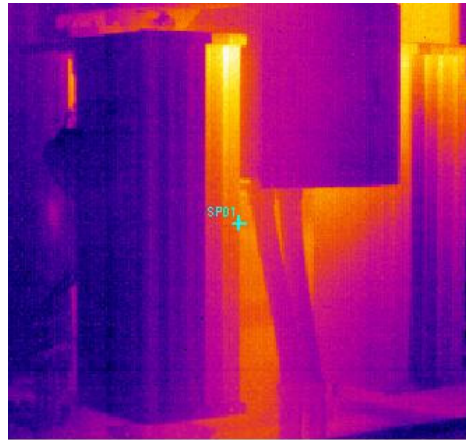




La acción correctiva es trabajar para que las caras tengan mayor superficie de contacto y esto se logra apretando adecuadamente al torque requerido, limpiando las superficies de contacto de la barra y pernos.

### Enfriador De Transformador

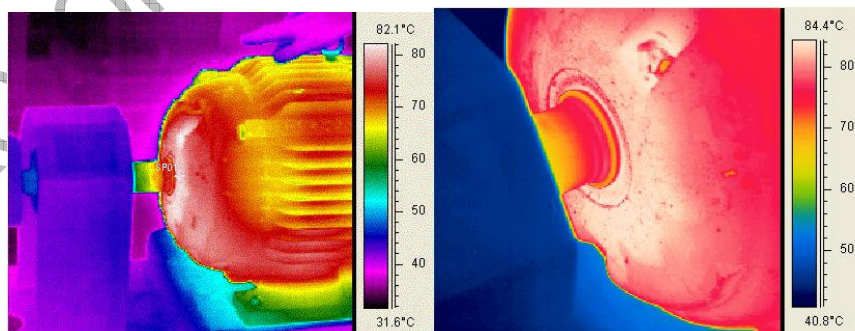
La Figura 05, muestra una termografía realizada a un transformador de distribución, en particular a los enfriadores de aceite.



**Figura 05. Enfriador de Transformador con alta temperatura.**

Por lo que se ve en la imagen, muy posiblemente hay válvulas cerradas de algunas secciones de los radiadores de este transformador, dado que no existe una distribución uniforme de la temperatura sobre los enfriadores. Se descarta que sea taponamiento, porque en esos casos hay un leve calentamiento en los tubos, y en este caso se observa un gradiente de temperatura a lo largo de la trayectoria.

### Perfil Temperatura Motor



**Figura 06. Termografía a motor lado accionamiento.**

En situación mostrada en la Figura 06, pueden presentarse dos situaciones: la primera sería falta de lubricación y/o exceso de grasa en el descanso lado accionamiento. Se recomienda que verificar la zona de drenaje de grasa que no este obstruida ni haya



exceso de grasa. En segundo lugar realizar una inspección de vibraciones mecánicas al conjunto, ya que el problema puede ser originado por la carga, para que descartar que no sea un problema de desalineamiento y/o deformación del eje.

Es importante fijarse si los niveles axiales están altos, esto podría deberse a un desalineamiento del acople. Antes de alinear hay que tener en cuenta que no exista soltura de rodamientos de motor o soltura estructural del sistema, ya que si hay soltura primero se tiene que eliminar tal situación.

Para esta falla en particular se origino en una excesiva lubricación, la purga de grasa no estaba activa (o destapa para permitir el desplazamiento de la grasa vieja) por lo que el lubricador, cada vez que se aplicaba grasa se colocaba más y más y esta acumulación excesiva causo dos cosas, la primera de ellas fue la presión en exceso de la grasa que termino con fugarse hacia dentro del motor y la segunda el acortamiento de la vida útil del rodamiento.

### Líneas De Aéreas de Alta Tensión

Esta es una de las aplicaciones mas común y simple, por otra parte eficiente ya que permite evaluar el estado de operación en operación norma, es decir en condición de energizado; y por otra a distancia lo que es muy deseable desde el punto de vista de seguridad del mantenedor.



**Figura 07. Termografía a Línea Aérea de 23 kV.**

En la termografía de la Figura 07 que se muestra, la máxima temperatura que existe en el punto caliente del seccionador es de 27°C, y la mínima en los otros seccionadores es de 11°C y la Temperatura ambiente es de 9°C.

En esta subestación se realiza mensualmente monitoreo, no existe reflectividad, así mismo se ha medido 4 veces de las cuales, la primera vez que estaba caliente y la segunda vez desapareció, estando a la misma temperatura ambiente, la tercera vez apareció de nuevo el punto caliente, ahora se mantiene, así pasan en varias subestaciones.

Esta falla pude deberse a un desbalance en el voltaje entre fases y/o mala distribución de corriente, para esto es conveniente verificar las corrientes y voltajes que existen por fases al momento de realizar la termografía, otro factor que puede influir es la velocidad del viento.



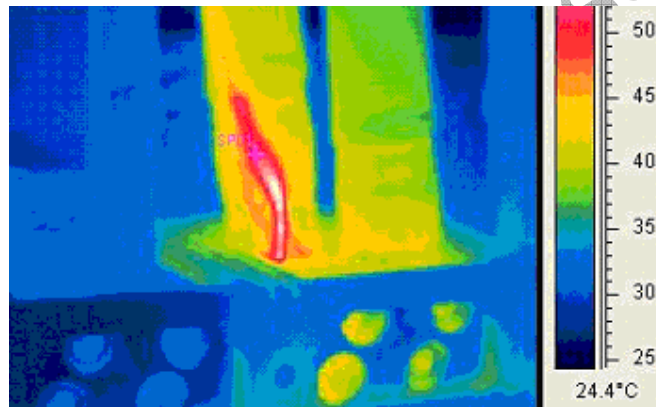


Lo recomendable a seguir es lo siguiente:

- Verifica la hora de las mediciones, si se trata de una carga variable se deberá realizar las mediciones cuando la carga sea igual, de preferencia máxima.
- De lo posible toma otros ángulos del problema, para descartar del todo la reflexión.
- Recomienda la medición de la resistencia de contactos, puede ser que los contactos necesiten mantenimiento o que el mecanismo de cierre del seccionador no logre un buen contacto, esto también podría ser la causa de las mediciones distintas.

### Densidad De Corriente

El efecto se llama Densidad de Corriente y tiene que ver con que los conductores están sucios y solo uno o dos esta conduciendo el total de la energía.



**Figura 08. Alta temperatura por alta densidad de corriente.**

La imagen muestra que unos de los hilos que forman el conductor esta a mayor temperatura que el resto, el conductor esta calculado para conducir cierto valor de corriente con la sección total del conductor ( $\approx 4 \text{ A/mm}^2$ ), si disminuimos la sección aumenta la densidad de corriente, no el valor de corriente total  $I$ , sino el valor de corriente por cada alambre, lo que es equivalente a un aumento de resistencia de manera que las perdidas por efecto joule se incrementan, en la imagen en particular, el conductor esta disminuido en sección en esa zona en particular.



## **APLICACIÓN DE TERMOGRAFÍA AL MANTENIMIENTO DE REDES ELÉCTRICAS**

### **Descripción del Sistema**

En el Sistema Eléctrico de la Compañía, pueden distinguirse dos subsistemas a los cuales es aplicable a técnica de la Termografía, el primero la línea 220 kV, la cual se extiende por aproximadamente 13 Km., el segundo subsistema es la red de 23 kV., la cual comprende los diversos alimentadores, los cuales se extienden por aproximadamente 30 Km.

Adicionalmente a los sistemas indicados con anterioridad y como parte integrante de ellos, se encuentra un parque de 16 transformadores, con potencias entre 80 MVA y 1.5 MVA, los cuales están integrados en el mismo Plan de Mantenimiento.

### **Plan de Mantenimiento Predictivo**

El plan de mantenimiento predictivo asociado a este subsistema eléctrico consiste básicamente en lo siguiente:

- Inspecciones visuales.
- Inspecciones Termográficas.
- Análisis de aceite.
- Medición de parámetros de aislamiento.

Estas actividades están programadas a través del sistema de administración del mantenimiento, el que de acuerdo a una secuencia programada previamente genera las órdenes de trabajo para atender las inspecciones, con una frecuencia semestral.

### **Resultados Obtenidos**

La mejora en la programación de los trabajos de mantenimiento gracias a la incorporación de las actividades a sistema de administración de la mantención, como también la aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo como la termografía, han permitido mejorar los índices de calidad de servicio y de disponibilidad de las instalaciones, en particular en lo relativo a líneas eléctricas aéreas y subestaciones.

Desde el año 2003 en adelante se ha continuado cada vez con mayor énfasis los programas de mantenimiento predictivo y preventivo, junto con las inspecciones rutinarias realizadas por personal de Mantenimiento.

Para la realización de las inspecciones se ha seguido utilizando, como metodología habitual de trabajo y con resultados satisfactorios, el uso de la técnica Termográfica. La que por su naturaleza no invasiva permite su aplicación en condiciones normales de operación sin interferir con la actividad productiva. Por otra parte se ha continuado con el Plan de Mantenimiento de Condensadores, Resistencias, Reactores y Transformadores, empleando técnicas de medida discreta y continuas (monitoreo), en cuanto a estos últimos equipos el Plan de Mantenimiento ha considerado a parte de la aplicación de la Termografía, el análisis de aceite y la medición de parámetros del aislante.

Luego de la racionalización de las actividades de mantenimiento a partir del año 2003, se observó una reducción significativa de los costos asociados a intervenciones imprevistas, tal como se puede apreciar en el gráfico adjunto de la Figura. 10.



La preocupación se enfoca principalmente en el aspecto de la continuidad de servicio, situación que de ser irregular, produce graves alteraciones en el desarrollo habitual de la actividad productiva. Sobre esto, las variables más importantes al momento de un análisis son, sin lugar a dudas, el número de ocurrencias de fallas y sus duraciones. Esta estimación presenta cierta complejidad debido a que la ocurrencia de una falla es un hecho fortuito, difícil, e incluso imposible, de anticipar, los factores climáticos son causas importantes de falla en las redes de distribución eléctrica, como lo es también un mantenimiento preventivo inadecuado.

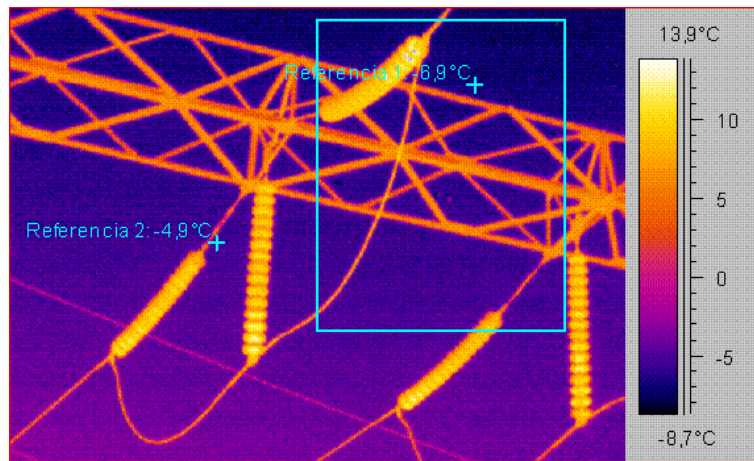


Figura. 09. Termografía portal SE 220 kV.

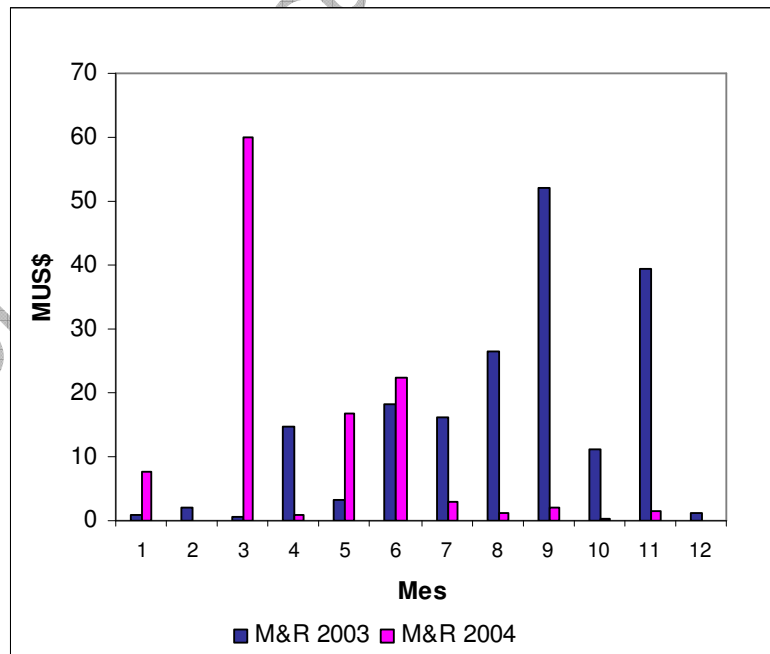
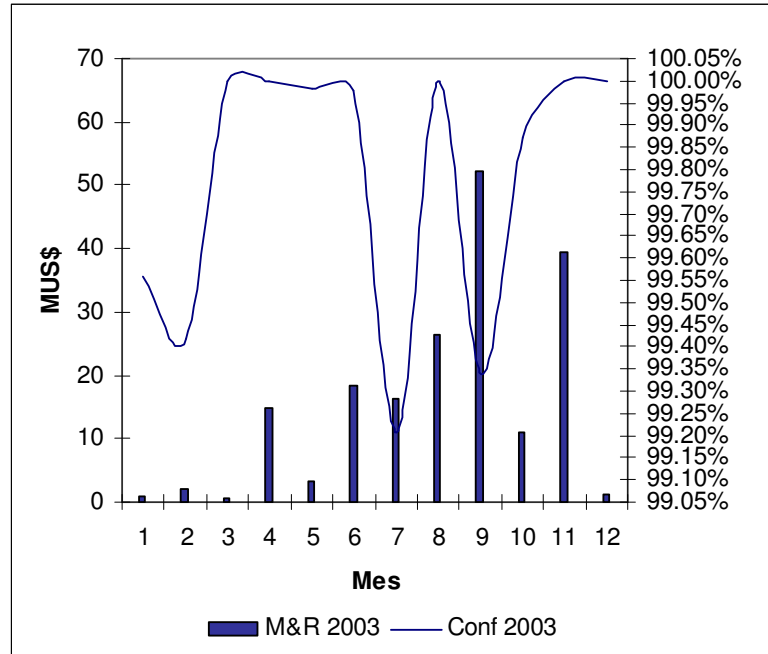


Figura. 10. Costo M&R Sistema 220/23 kV. Periodo 2003-2004

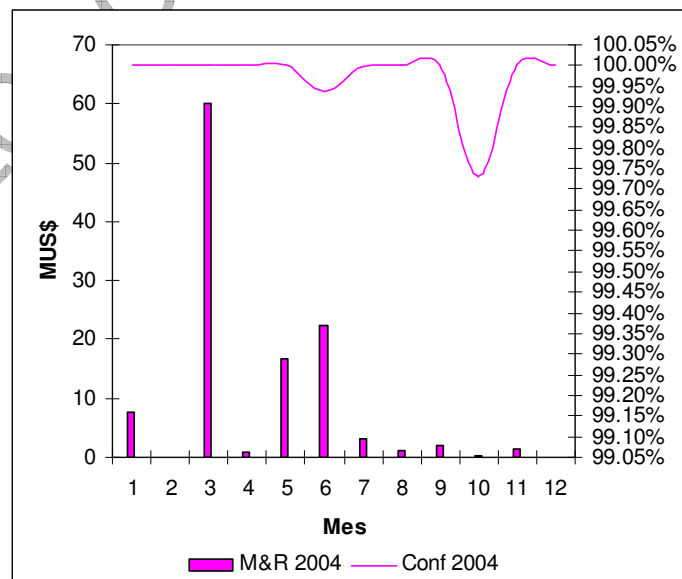


La confiabilidad del sistema eléctrico es una característica esencial de la calidad del servicio, en este análisis, se trabajó con el concepto de confiabilidad entendida como la capacidad del sistema para cumplir con esta función operando dentro de los límites de los equipos, sin suspensiones en el servicio o fallas demasiado extensas, incluso frente a una perturbación del sistema como la salida de una carga relevante o la falla de uno de sus componentes.



**Figura 11. Costo M&R Sistema 220/23 kV. – Confiabilidad Periodo 2003**

La incidencia en el indicador Confiabilidad se muestra en el gráfico adjunto en la Figura 11 se observa el desempeño en el periodo 2003 y en la Figura 12 el correspondiente al 2004.



**Figura 12. Costo M&R Sistema 220/23 kV. – Confiabilidad Periodo 2004**



## **APLICACIÓN DE TERMOGRAFÍA AL MANTENIMIENTO DE PALAS ELECTROMECHANICAS**

### **Descripción del Sistema**

Las Palas Electromecánicas están compuestas básicamente por un sistema eléctrico que suministra energía a los convertidores estáticos que forman parte de los accionamientos, de los diversos movimientos del equipo, esto es: giro, levante, empuje y propulsión. El sistema eléctrico consta de una subestación que reduce el nivel de tensión de alimentación de 6.0 kV. a 600 VAC para alimentar los convertidores estáticos, en conjunto con esto y con motivo de la presencia de los convertidores estáticos se cuenta además con una unidad de control de reactivos RPC.

Todos los elementos anteriormente indicados se encuentran ubicados en la sala de maquina de las Palas Electromecánicas, con motivo de confinar los flujos de aire de refrigeración y por otra aislar al personal de mantenimiento y/o operación de contactos directos con partes energizadas, estos se encuentra ubicados al interior de sendos tableros cerrados.

Normalmente los problemas que se presentan en estos equipos son solturas en los elementos de potencia, ya sea barras de conexión, montaje de SCR's, etc. y por otra parte, defectos en componentes como Reactores, Resistores, Condensadores, SCR's etc., dado que todas estas situaciones o anomalías, finalmente se traducen en calentamientos se definió la aplicación de la Técnica Termográfica para detectarlas y posteriormente definir las acciones necesarias para mitigarlas.

Idealmente la Inspección Termográfica debe realizarse con el equipo en operación normal de manera de poder observar su comportamiento en carga, pero debido a razones de seguridad se realiza con equipo detenido. Esto es por el riesgo que se presenta al realizar la inspección en movimiento y con las puertas de los gabinetes abiertas, hecho que es de alto riesgo al exponer al personal en un entorno móvil con frecuentes aceleraciones y cambios de dirección con partes energizadas expuestas libremente. Por lo anterior la Inspección Termográfica se realiza inmediatamente luego de la detención del equipo, situación que podría ser cuestionable pero que nos ha entregado buenos resultados, y es un compromiso con el aspecto seguridad.

Plan de Mantenimiento Predictivo

El plan de mantenimiento predictivo asociado a estos equipos eléctricos consiste básicamente en lo siguiente:

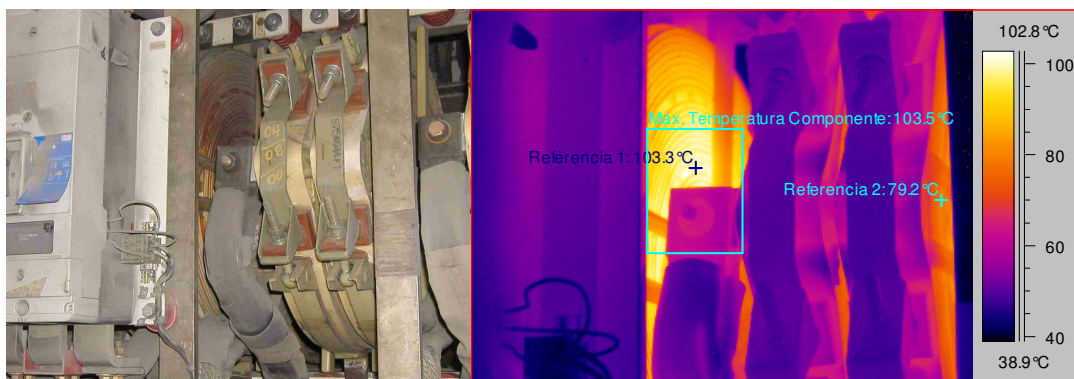
- Inspecciones visuales.
- Inspecciones Termográficas.

Estas actividades están programadas a través del sistema de administración del mantenimiento, el que de acuerdo a una secuencia programada previamente genera las ordenes de trabajo para atender las inspecciones, con una frecuencia de 2000 hrs. de operación por cada equipo de la flota de Palas.



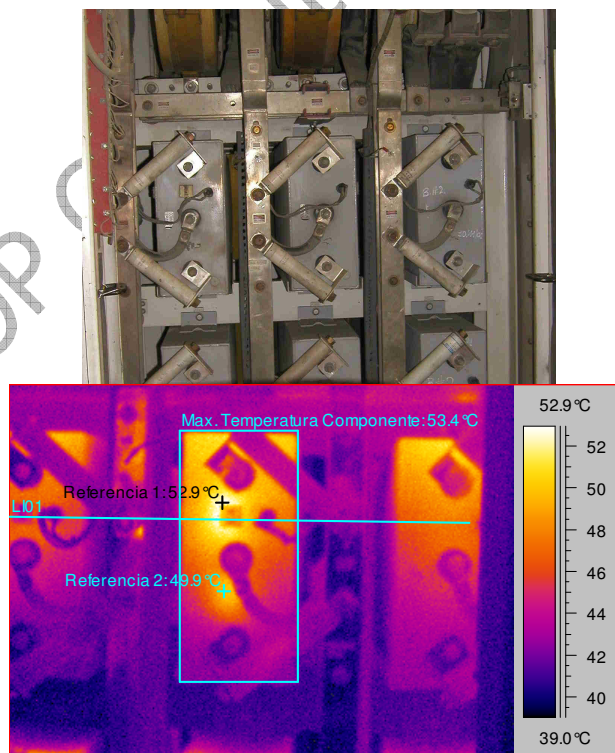
## RESULTADOS

La aplicación de esta técnica es de larga data en las instalaciones, la aplicación particular a la flota de Palas Electromecánicas en forma regular y sistemática a través del sistema de administración de la mantención, se regulariza a partir del año 2002.



**Figura 13. Alta temperatura Reactor unidad RPC Palas**

Quizás uno de los mayores logros de esta técnica, ha sido el poder controlar el problema de fallas en las unidades RPC en el periodo 2003, situación en la cual se presentaban problemas en los reactores, SCR's, barras de conexión de BT y en los interruptores de caja moldeada asociados con soldaduras.



**Figura 14. Alta temperatura Condensador unidad RPC Palas**





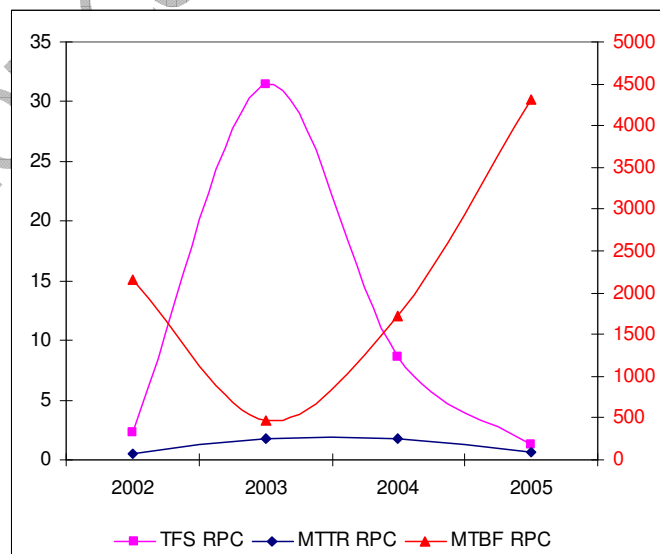
Conforme una conexión se empieza a aflojar, se incrementa la resistencia eléctrica causando un incremento de la temperatura. Este incremento puede ser causa de que los componentes fallen, resultando en detenciones no programadas y en ocasiones en accidentes. Si ésta fallas no son detectadas a tiempo, el incremento de calor puede alcanzar un punto en el cual las conexiones se fundan y abran el circuito, y como resultado incluso se pueden originar incendios. La Inspección Termografía puede rápidamente localizar puntos calientes, ayudar a determinar la severidad del problema, y establecer el periodo de tiempo dentro del cual la reparación puede ser realizada.

Todas estas situaciones redundan en una disminución del MTBF y un incremento de MTTR, y por ende una baja confiabilidad, en la tabla de la Figura 15 se muestra un detalle de los tiempos de detención observados desde el año 2002. La aplicación regular de las Inspecciones Termográficas ha permitido mantener los estándares de operación, reducción costo M&R, definir nuevas acciones de mantenimiento, asegurando la integridad del personal de mantenimiento, el que puede realizar las inspecciones en un ambiente de bajo riesgo y con resultados satisfactorios.

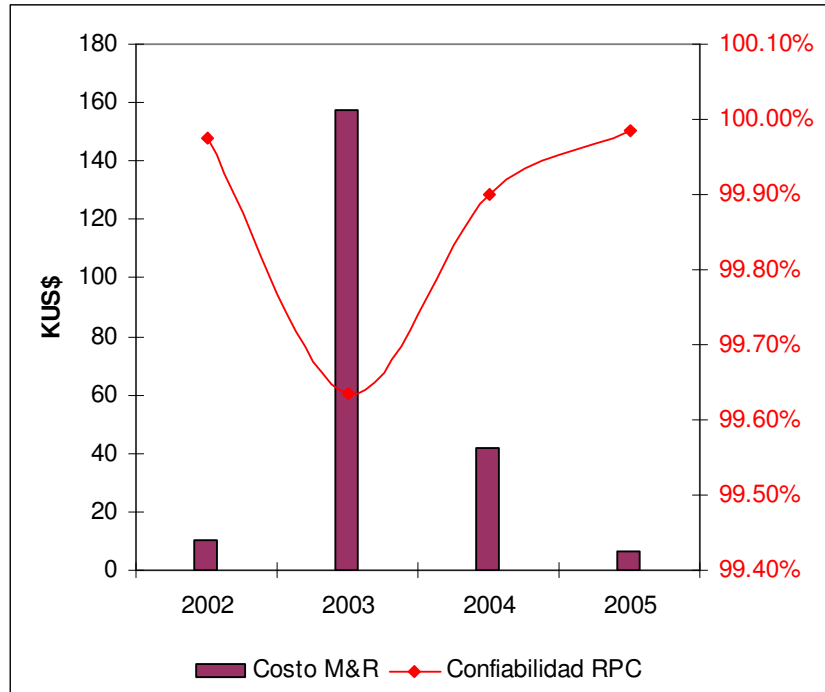
	Periodo			
	2002	2003	2004	2005
Tiempo total F/S (hrs.)	693.98	1051.40	1135.29	451.87
Tiempo F/S RPC (hrs.)	2.23	31.46	8.65	1.30
Tiempo F/S RPC (%)	0.32%	2.99%	0.76%	0.29%
# Fallas RPC	4	18	5	2

**Figura 15. Tiempos de detención fallas RPC Palas**

Adicionalmente a lo anterior, la eficiencia del sistema disminuye drásticamente antes de que se produzca la falla, ésta energía se disipa en forma de calor, produciendo pérdidas económicas. Además de conexiones flojas y/o corte de ellas, se pueden originar producir desbalanceo de cargas, corrosión e incrementos de impedancia que llevara a la unidad a un punto de operación no deseado e ineficiente.



**Figura 16. Indicadores unidad RPC Palas**



**Figura 17. Confiabilidad – Costo M&R unidad RPC Palas 2002 – 2005**

En la Figura 16, se observa la evolución de los indicadores de mantenimiento de la unidad RPC Palas en el periodo 2002 a la fecha, es de notar los problemas suscitados en el periodo 2003, los cuales llevaron a representar casi un 3% del tiempo total de detención.

En la Figura 17, se muestra la incidencia en el costo de M&R asociadas a las fallas en la unidad RPC Palas, como era de esperar el costo se incrementa con la disminución de la disponibilidad, justificando la aplicación de la Inspección Termográfica y la definición de nuevos procedimientos de mantenimiento.

### Conclusiones

La mayoría de los problemas o anomalías en equipos en la industria, sean estos eléctricos o mecánicos, presenta cambios en sus temperaturas de operación, situación que puede ser observada mediante la Técnica Termográfica. La aplicación de esta mediante inspecciones regulares a equipos e instalaciones, permite reducir el riesgo de falla y mitigar sus efectos, como también representa una herramienta para monitorear la calidad del mantenimiento.

Sin duda la mayor ventaja de la Técnica Termografía, es que permite, a distancia y sin ningún tipo de contacto, medir y visualizar las temperaturas de los elementos o componentes con precisión, este hecho es su gran fortaleza



La aplicación de la Técnica Termográfica debe complementarse con otras herramientas, tales como: Tribología, Vibraciones mecánicas, Ultrasonido y otras, de manera de poder llegar a un diagnóstico preciso en la determinación de la falla o anomalía.

El futuro de la técnica termografía o infrarroja es auspicioso 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.

Para el mantenedor que usa esta técnica, el mundo que lo rodea es un emisor gigante, los flujos de energía se desarrollan a todo nuestro alrededor y dado que los sistemas no son perfectos de modo que siempre existe un grado de emisión de calor, la cual podemos observar a través de nuestros ojos con la ayuda de la técnica termográfica.

El desafío para los mantenedores es mejorar nuestra metodología de obtención y análisis de datos en una forma efectiva y eficiente, y encontrar nuevos usos y aplicaciones a esta fantástica tecnología.