

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**USO DE LA TERMOGRAFIA INFRARROJA EN EL
MANTENIMIENTO INTEGRAL EN SUBESTACIONES DE
TRANSFORMACIÓN**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

YSABEL AMPARO PAREDES MACEDO

**PROMOCIÓN 1999 – II
LIMA – PERÚ**

2007

Dedicatoria

***En reconocimiento a mis padres
Por su gran apoyo y en forma especial a mi familia,
Henry y Fernando, por su paciencia y confianza.***

TABLA DE CONTENIDO

<u>PROLOGO</u>	1
<u>CAPITULO I</u>	
<u>INTRODUCCIÓN</u>	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivo	4
1.3 Justificación	4
<u>CAPITULO II</u>	
<u>FUNDAMENTO TEORICO</u>	6
2.1 Técnicas De Medida Termográfica	6
2.1.1 Emisividad	7
2.1.2 Temperatura Ambiente	9
2.1.3 Distancia	9
2.1.4 Humedad Relativa	
2.2 Teoría de la Termografía	10
2.2.1 El espectro electromagnético	10
2.2.2 La radiación del cuerpo negro	11
2.2.3 Materiales semi-transparentes a los infrarrojos	19
2.3 Por que usar la Termografía Infrarroja	21
<u>CAPITULO III</u>	
<u>MANTENIMIENTO INTEGRADO EN SUBESTACIONES</u>	23
3.1 Mantenimiento Preventivo	23

3.1.1 Inspección Visual	24
3.1.2 Mantenimiento Preventivo Sistemático	27
3.1.3 Inspección Termográfica	27
3.2 Mantenimiento Correctivo	43
3.3 Mantenimiento Proactivo	45
3.3.1 Grupo de Trabajo	45
3.3.2 Actividades del Mantenimiento Proactivo	46
<u>CAPITULO IV</u>	
<u>INSPECCIONES TERMOGRÁFICAS</u>	50
4.1 Selección de Cámara Termográfica	51
4.1.1 Características Técnicas de Thermacam 640	51
4.2 Software Thermacam Reporter	55
4.2.1 Características Técnicas De Software Thermacam Reporter	57
4.3 Informe de Termovisión	58
4.3.1 Fuentes De Las Variaciones Térmicas En El Sistema Eléctrico	58
4.3.2 Imágenes Térmicas	63
4.3.3 Elaboración del Informe de Termovision	66
a. Reporte de la Inspección de Termovisión	66
b. Consideraciones para la Elaboración del Informe de Termovision	67
c. Informe Final de Termovisión	69
<u>CAPITULO V</u>	
<u>BENEFICIO ECONÓMICO</u>	70
5.1 Retorno de Inversión	70
5.2 Beneficios de Inversión en una Planta Pesquera	71

6. CONCLUSIONES	75
7. BIBLIOGRAFÍA.	77
8. ANEXO.	78
ANEXO 1: Tabla de Características Técnicas de Cámara Infrarroja Thermacam P640	78
ANEXO 2: Ejemplo de Informe de Termovisión	82
ANEXO 3: Tabla de Emisividad	87

PROLOGO

El presente informe ha sido desarrollado para que todo aquel que se decida a realizar trabajos de inspección termográfica lo realice con la mayor facilidad y rapidez posible, teniendo las consideraciones necesarias para su elaboración.

Será de gran ayuda tanto para ingenieros y técnicos que se encuentren laborando en el ámbito de mantenimiento en empresas eléctricas e industrias en general.

La técnica de termografía, si bien ya se tiene conocimiento de ella hace algunos 10 años atrás, en nuestro país, aún no se implementa o se considera en los programas de mantenimiento como se debería, posiblemente por el costo tanto del equipo como del servicio.

En algunas empresas industriales a lo que se opta es usar equipos o instrumentos infrarrojos pequeños, de muy baja precisión, lo que ayuda a tener un registro de temperatura de los equipos inspeccionados, pero con ello no se puede contar con un mayor panorama de la condición del equipo.

Por tal motivo, es que se desarrolla el presente informe, buscando que los interesados tengan un apoyo de sustentar la implementación de esta técnica en sus empresas, la misma que se ha dividido en capítulos descritos líneas abajo.

En el Capítulo I, se explica en forma breve de que se trata la termografía, cual es la ayuda en el ámbito del mantenimiento eléctrico, el objetivo del presente informe de suficiencia y el por qué de su importancia.

En el Capítulo II, se desarrolla con mayor detalle la técnica de la termografía, como es que se llegó a ella, teoría de los parámetros que influyen en la medición de la temperatura, definiciones importantes que debemos tener para entender de cómo funciona la termografía.

En el Capítulo III, se desarrolla el tema de mantenimiento integrado específicamente en las subestaciones eléctricas, definiciones importantes; como mantenimiento preventivo, predictivo, correctivo y proactivo; los cuales intervienen o forman parte de este mantenimiento integral.

En el Capítulo IV, se describe el equipo y el software que se debe utilizar para las inspecciones de termovisión, sus características técnicas mínimas, breve descripción de sus accesorios. Además, se presenta las consideraciones o parámetros que se deben tener para la elaboración del informe de termovisión, como influyen estos datos en la obtención de un informe adecuado y veraz.

En el Capítulo V, se realiza el análisis de retorno de inversión de la implementación de esta técnica en el programa de mantenimiento eléctrico en la industria en general y se toma como ejemplo una planta pesquera.

Finalmente, se presenta las conclusiones del trabajo desarrollado en base a los temas expuestos.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La principal aplicación de la termografía es en la inspección de sistemas eléctricos. Esta técnica es capaz de revelar la presencia de anomalías o posibles fallas en algún componente o elemento del sistema eléctrico en análisis.

1.1 Antecedentes

La utilización de imágenes térmicas se ha convertido en una de las herramientas más valiosas de diagnósticos para el Mantenimiento Predictivo y también del Mantenimiento Preventivo y en la actualidad hablamos del Mantenimiento Integral que involucra los mantenimientos mencionados. Esta técnica, también llamada termografía, es una técnica de “**no contacto**” para generar imágenes infrarrojas, o fotografías del “**calor**” que permiten los objetos, en las cuales se puede medir su temperatura. Al detectar anomalías que muy a menudo resultan ser invisibles a simple vista, la termografía permite tomar acciones correctivas antes de que ocurran fallas costosas en los sistemas y equipos.

Una de las características más importante de esta técnica es que permite realizar las inspecciones mientras los equipos se encuentran **operando con carga**. Como

se trata de un método de diagnóstico de no contacto, el especialista o persona a cargo de las inspecciones de termovisión puede rápidamente inspeccionar una pieza de un equipo desde una distancia segura, salir del área de riesgo, retornar a su oficina y analizar las imágenes sin poner nunca en peligro su integridad física.

1.2 Objetivos

Implementar adecuadamente el mantenimiento integral en el ámbito del sector eléctrico e industria en general, de tal forma que los índices de interrupción de energía eléctrica disminuyan notablemente y los niveles de producción mejoren con la ayuda de las inspecciones termográficas debidamente programadas dentro del plan de mantenimiento.

1.3 Justificación

En nuestro país, empresas concesionarias de distribución eléctrica han incorporado a su área de mantenimiento las inspecciones de termovisión o termografía infrarroja, para todas sus subestaciones tanto aéreas, compactas y convencionales, así mismo, empresas de transmisión eléctrica cuenta con esta técnica para la inspección de sus líneas de transmisión, en las conexiones, aisladores y otros, empresas de generación eléctrica, toman el servicio de inspección de termovisión, para sus equipos como transformadores en baja, media y alta tensión, tableros de fuerza y otros equipos. Pero no solo en el sector eléctrico es muy útil esta técnica, también tiene una amplia aplicación en la industria, refinerías de minerales y demás.

Todas las empresas, antes de incorporar a su mantenimiento preventivo y predictivo convencional o algunas a su mantenimiento integral, la técnica de termografía infrarroja, han realizado un estudio económico y han demostrado que es más conveniente realizar una inversión en adquirir el equipo o en su defecto contratar los servicios de terceros para que realicen en sus instalaciones las inspecciones de termovisión y con ello obtener un informe minucioso y preciso de donde se encontraría la posible falla y poderlo intervenir en la primera parada programada, con lo que se conseguiría prever que ocurra una la falla y provoque interrupciones en el sistema eléctrico o de producción con lo que se tendría grandes pérdidas de dinero.

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEORICO

Es importante tener en cuenta que la precisión de la temperatura medida se ve afectada por otros parámetros, las mismas que debemos tenerlas bien definidas y diferenciadas para obtener como resultado un buen informe de termovisión que no conduzca a falsas mediciones.

2.1 Técnicas de Medida Termografica

La termografía infrarroja (IR/T) es usado como una técnica de monitoreo de condición remota para recoger información térmica para monitorear la condición de todos los componentes eléctricos en un sistema integro desde la generación hasta el usuario final.

A través de las cámaras infrarrojas se logra obtener las imágenes térmicas, estos equipos miden y reproducen en imágenes la radiación infrarroja emitida por los objetos. El hecho de que la radicación sea una función de la temperatura superficial del objeto le permite a la cámara calcular y mostrar esa temperatura.

Sin embargo, la radiación medida por la cámara no sólo depende de la temperatura de los objetos, sino que es también una función de la emisividad. El entorno también emite radiación y se refleja en el objeto. La radiación procedente de un objeto y la radiación refleja también se ven afectadas por la absorción de la atmósfera.

Por lo tanto, para medir la temperatura con precisión es necesario compensar los efectos de un determinado número de fuentes de radiación, a continuación los parámetros necesarios para obtener una temperatura real:

- ❖ La emisividad del objeto
- ❖ La temperatura ambiente
- ❖ La distancia entre el objeto y la cámara
- ❖ La humedad relativa

2.1.1 Emisividad

El parámetro de objeto más importante que se debe establecer correctamente es la emisividad, que se puede describir de forma sencilla como una medida de cuánta radiación es emitida por el objeto si se la compara con la que emitiría un cuerpo negro perfecto.

Normalmente, los materiales de los objetos y tratamientos superficiales presentan emisividades que van de aproximadamente 0.1 a 0.95. Una superficie muy pulida (espejo) está por debajo de 0.1, mientras que una superficie oxidada o pintada tiene una emisividad mucho mayor. Una pintura a base de aceite, independientemente

del color en el espectro visible, tiene una emisividad superior a 0.9 en el infrarrojo. (Ver Anexo N° 3 Tabla de Emisividad)

Los metales no oxidados representan un caso extremo de opacidad casi perfecta así como una reflectividad especular alta, que además no varía sensiblemente con la longitud de onda. En consecuencia, la emisividad de los metales es baja – sólo se incrementa con la temperatura. Para los no metales, la emisividad tiende a ser alta y disminuye con la temperatura.

a. Como encontrar la emisividad de un objeto

a.1 Usando un Termopar

Seleccione un punto de referencia y mida su temperatura mediante un termopar. Altere la emisividad hasta que la temperatura medida por el equipo de termovisión o cámara infrarroja coincida con la lectura del termopar. Este es el valor de la emisividad del objeto de referencia. Sin embargo, la temperatura del objeto de referencia no debe encontrarse cerca de la temperatura ambiente para que este sistema funcione.

a.2 Usando una emisividad de referencia

Se debe poner una cinta o una pintura de una emisividad conocida sobre el objeto. Mida la temperatura de la cinta/pintura utilizando la cámara infrarroja, fijando la emisividad con el valor correcto. Anote la emisividad, hasta que la superficie con la emisividad desconocida que se encuentra al lado de la cinta o de la pintura tenga la

misma lectura de temperatura. En este momento se puede obtener la lectura del valor de la emisividad. Con este sistema la temperatura del objeto de referencia tampoco debe encontrarse cerca de la temperatura ambiente para que funcione.

2.1.2 Temperatura Ambiente

Este parámetro se utiliza para compensar la radiación reflejada en el objeto y la radiación emitida desde la atmósfera entre la cámara y el objeto.

Si la emisividad es baja, la distancia es muy larga y la temperatura del objeto relativamente cercana a la del ambiente, entonces es muy importante que se establezca y se compense la temperatura ambiente de forma correcta.

2.1.3 Distancia

La distancia es la distancia entre el objeto y la lente frontal de la cámara.

Este parámetro se utiliza para corregir el hecho de que la radiación está siendo absorbida entre el objeto y la cámara así como el hecho de la caída de la transmitancia con la distancia.

2.1.4 Humedad Relativa

La cámara también puede compensar el hecho de que la transmitancia es de alguna manera dependiente de la humedad relativa de la atmósfera. Para conseguir esto, fije la humedad relativa en el valor correcto. Para distancias cortas y

humedades normales, la humedad relativa se puede dejar normalmente con un valor por defecto del 50%.

2.2 Teoría de Termografía

2.2.1 El Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético se divide de forma arbitraria en un determinado número de regiones de longitudes de onda, llamadas "bandas", que se distinguen por lo métodos que utilizan para producir y detectar la radiación. No hay una diferencia fundamental entre la radiación en las diferentes bandas del espectro electromagnético. Todas están gobernadas por las mismas leyes y las únicas diferencias son las derivadas de las diferentes longitudes de onda.

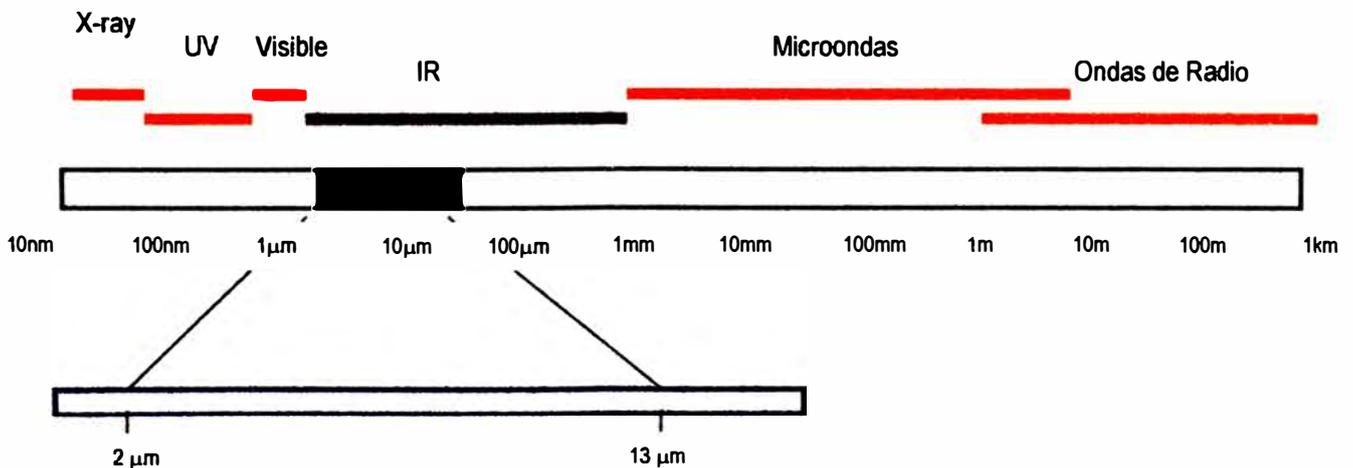


Figura N° 1. Espectro Electromagnético

La termografía utiliza la banda espectral de infrarrojos. En el extremo de las longitudes de ondas cortas la frontera la establece el límite de la percepción visual,

en el rojo profundo. En el extremo de las longitudes de ondas largas se junta con las longitudes de ondas de radio denominadas "microondas", en el rango de los milímetros.

La banda de los infrarrojos se subdivide a menudo en cuatro bandas más pequeñas, cuyas fronteras también se eligen de forma arbitraria. Comprenden: el "infrarrojo cercano" (0.75 a 3 μm), el "infrarrojo medio" (3 a 6 μm), el "infrarrojo lejano" (6 a 15 μm) y el "infrarrojo extremo" (15 a 100 μm). Aunque las longitudes de onda se expresan en mm (micrómetros), a menudo σ utilizan otras unidades para medir la longitud de onda en esta región espectral, como son las micras (μ), los nanómetros (nm) y los Angstróms (A°).

Las relaciones entre las diferentes medidas de las longitudes de onda son:

$$10\,000\ \text{A}^\circ = 1\,000\ \text{nm} = 1\ \mu\text{m}$$

2.2.2 La Radiación del Cuerpo Negro

Un cuerpo negro se define como un objeto que absorbe toda la radiación que incide sobre él a cualquier longitud de onda. El nombre de "negro", aparentemente inapropiado cuando se le relaciona con un objeto que emite radiación, se explica con la Ley de Kirchhoff, se establece que un cuerpo capaz de absorber toda la radiación a cualquier longitud de onda es igualmente capaz de la emisión de radiación.

La construcción de una fuente con un cuerpo negro es un principio muy simple. Las características de la radiación de una abertura en una cavidad isotérmica hecha con un material absorbente opaco representa casi exactamente las propiedades de un cuerpo negro. Una aplicación práctica del principio a la construcción de un absorbente de radiación perfecto consiste en una caja que esté bien sellada a la luz, excepto por una abertura en uno de los lados. Cualquier radiación que entre por el agujero se dispersa y es absorbida por reflexiones repetidas de tal manera que posiblemente sólo una fracción infinitesimal pueda escapar. La negrura que se obtiene en la abertura es casi igual a la de un cuerpo negro y es casi perfecta para todas las longitudes de onda.

Si a esa cavidad isotérmica se le coloca un calentador adecuado se convierte en lo que se denomina un "radiador de cavidad". Una cavidad isotérmica calentada a una temperatura uniforme genera una radiación de cuerpo negro, cuyas características vienen determinadas únicamente por la temperatura de la cavidad. Estos radiadores de cavidad se utilizan frecuentemente como fuentes de radiación en estándares de referencia de temperatura en los laboratorios que se utilizan para calibrar los instrumentos termográficos.

Si la temperatura de radiación de un cuerpo negro sobrepasa los 525 °C, la fuente comienza a ser visible de manera que el ojo ya no le parece negra. Esta es la temperatura de color rojo incipiente del radiador, que a continuación se convierte en naranja o amarillo según la temperatura se sigue incrementando. La definición de la denominada "temperatura de color" de un objeto es la temperatura a la cual se tendría que calentar un cuerpo negro para tener la misma apariencia.

Ahora consideramos tres expresiones que describen la radiación emitida por un cuerpo negro.

a. La Ley de Planck

Max Planck fue capaz de describir la distribución espectral de la radiación de un cuerpo negro por medio de la siguiente fórmula:

$$W\lambda_b = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1)} \times 10^{-6} \quad \left[\text{Watts m}^2 \mu\text{m} \right]$$

Donde:

$W\lambda_b$: la emitancia espectral de radiación del cuerpo negro a una longitud de onda λ .

c : la velocidad de la luz = 3×10^8 m/seg.

h : la constante de Planck = 6.6×10^{-34} Julio.seg.

k : la constante de Boltzman = 1.4×10^{-23} Julio/K.

T : la temperatura absoluta (K) de un cuerpo negro.

λ : la longitud de onda (m).

Nota: El factor 10^{-6} se utiliza porque la emitancia espectral se expresa en las curvas en $\text{Watts/m}^2 \mu\text{m}$. Si se elimina el factor la dimensión será de $\text{Watts/m}^2 \text{m}$.

Cuando se dibuja gráficamente la fórmula de Planck para varias temperaturas, se genera una familia de temperaturas. Si se sigue una curva de Planck en particular, la emitancia espectral es cero $\lambda = 0$, a continuación se incrementa rápidamente hasta un máximo a una longitud de onda $\lambda_{\text{máx}}$ para después empezar a aproximarse a cero de nuevo con las longitudes de onda muy largas. Cuando mayor es la temperatura, más corta es la longitud de onda en la que se alcanza el máximo.

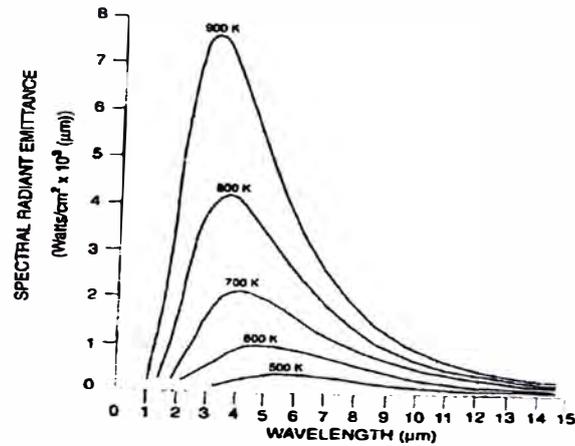


Figura N° 2. Emitancia espectral de radiación de un cuerpo negro de acuerdo con la ley de Planck, graficada para varias temperaturas absolutas.

b. La ley de desplazamiento de Wien

Si se calcula la derivada de la fórmula de Planck con respecto a λ , y se encuentra el máximo, obtendremos:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{2898}{T} \quad [\mu m]$$

Esta es la fórmula de Wien, que expresa matemáticamente la observación común de que los colores varían del rojo al anaranjado o amarillo según se incrementa la temperatura de un radiador térmico. La longitud de onda del color es la misma que la longitud de onda calculada para $\lambda_{m\acute{a}x}$. Una buena aproximación del valor de $\lambda_{m\acute{a}x}$ para una temperatura dada de un cuerpo negro se obtiene aplicando la regla nemotécnica (3 000 K). Así, una estrella muy caliente como es Sirius (11 000 K), que emite una luz azulada-blanca, irradia con un pico de emitancia espectral de radiación situado dentro del espectro del ultravioleta invisible, a una longitud de onda de 0,27 μm .

El sol (aproximadamente 6 000 K) emite luz amarilla, con un pico situado a $0,5\mu\text{m}$ en el medio del espectro de luz visible.

A la temperatura ambiente (300 K) el pico de emitancia de radiación se sitúa en los $9,7\text{mm}$, en el infrarrojo lejano, mientras que a la temperatura del nitrógeno líquido (77 K) el máximo de la casi insignificante cantidad de emitancia de radiación tiene lugar a $38\mu\text{m}$, en las longitudes de onda del infrarrojo extremo.

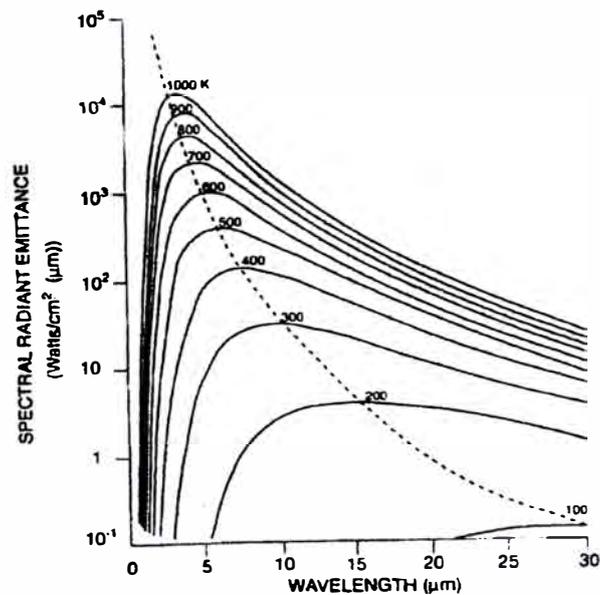


Figura N° 3. Curvas de Planck en escalas semilogarítmicas. La línea punteada representa el lugar de mayor emitancia de radiación a cada temperatura, de acuerdo a la ley de desplazamiento de Wien.

c. La ley de Stefan-Boltzmann

Al integrar la fórmula de Planck desde $\lambda = 0$ hasta $\lambda = \text{infinito}$, se obtiene la emitancia de radiación total (W_b) de un cuerpo negro:

$$W_b = \sigma T^4 \quad \left| \text{Watts} / \text{m}^2 \right|$$

Donde:

σ : la constante de Stefan-Boltzmann = $5,7 \times 10^{-8}$ Watts/m²

Esta es la fórmula de Stefan-Boltzmann, que establece que la potencia emisora total de un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Gráficamente, W_b representa la superficie por debajo de la curva de Planck para una temperatura en particular. Se puede ver que la emitancia de radiación en el intervalo $\lambda = 0$ a $\lambda_{\text{máx}}$ es solo 25% del total, lo que representa alrededor de la cantidad de la radiación del sol que se encuentra dentro del espectro de la luz visible.

Si se utiliza la fórmula de Stefan-Boltzmann para calcular la potencia radiada por un cuerpo humano, a una temperatura de 300 K y con una superficie externa de aproximadamente 2 m², obtendremos 1 kW. Esta potencia perdida no se podrá mantener si no fuera por la absorción de compensación de la radiación de las superficies del entorno, a temperatura ambiente que no varían dramáticamente de la temperatura del.

d. Emisores que no son cuerpos negros

Hasta ahora, se ha tocado acerca cuerpos negros radiadores y de la radiación del cuerpo negro. Sin embargo, los objetos reales casi nunca cumplen con estas leyes en una amplia zona de longitudes de onda –aunque pueden acercarse al comportamiento de un cuerpo negro en ciertos intervalos espectrales. Así tenemos el caso de la pintura blanca parece perfectamente

“blanca” en el espectro de luz visible, pero se convierte claramente en “gris” a unos $2 \mu\text{m}$, y más allá de los $3 \mu\text{m}$ es casi “negra”.

Hay tres procesos que pueden tener lugar y que evitan que un objeto real se comporte como un cuerpo negro: una fracción de la radiación incidente α puede ser absorbida, una fracción ρ se puede reflejar y una fracción τ se puede transmitir. Dado que todos estos factores son más o menos dependientes de la longitud de onda, se utiliza el subíndice λ para recordar la dependencia espectral de sus definiciones. Así:

- ✧ La absorción espectral α_λ = al porcentaje de la potencia espectral de radiación absorbida por un objeto sobre el que incide.
- ✧ La reflectancia espectral ρ_λ = al porcentaje de la potencia espectral de radiación reflejada por un objeto sobre el que incide.
- ✧ La transmitancia espectral τ_λ = al porcentaje de la potencia espectral de radiación transmitida a través de un objeto sobre el que incide.

La suma de estos tres factores debe siempre sumar el total a cualquier longitud de onda, de manera que tenemos la relación:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

Para los materiales opacos $\tau_\lambda = 0$, y la relación se simplifica hasta:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Hay otro factor, llamado la emisividad, que es necesario para describir la fracción ε de la emitancia de radiación de un cuerpo negro producida por un objeto a una temperatura específica. Así tenemos la definición:

La emisividad espectral ε_λ = al porcentaje de la potencia espectral de radiación de un objeto con respecto a la de un cuerpo negro a la misma temperatura y longitud de onda.

Expresado matemáticamente, esto se puede escribir como el cociente de la emitancia espectral del objeto con respecto al de un cuerpo negro tal y como sigue:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}}$$

Si se habla de forma general, hay tres tipos de fuentes de radiación, que se distinguen por la forma en la que emitancia espectral de cada uno de ellos varía con la longitud de onda.

- ✧ Un cuerpo negro, para el cual $\varepsilon_1 = \varepsilon = 1$
- ✧ Un cuerpo gris, para el cual $\varepsilon_1 = \varepsilon =$ constante menor que 1.
- ✧ Un radiador selectivo, para el cual ε varía con la longitud de onda.

De acuerdo con la ley de Kirchhoff, para cualquier material, la emisividad espectral y la absorción espectral de un cuerpo son iguales a cualquier temperatura y longitud de onda. Es decir:

$$\varepsilon_\lambda + \alpha_\lambda$$

De esto obtenemos que, para un material opaco, como $\rho_\square + \alpha_\square = 1$:

$$\rho_{\lambda} + \varepsilon_{\lambda} = 1$$

En los materiales con un alto grado de pulido ε_{λ} se aproxima a cero, de manera que para un material con una reflexión perfecta (es decir, un espejo perfecto) tenemos que:

$$\rho_{\lambda} = 1$$

Para un radiador de un cuerpo gris, la fórmula de Stefan – Boltzmann se convierte en:

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \quad (\text{watts/m}^2)$$

Esto demuestra que la potencia total de emisión de un cuerpo gris es la misma que la de un cuerpo negro a la misma temperatura reducida en la misma proporción que el valor de ε para el cuerpo gris.

2.2.3 Materiales semi-transparentes a los infrarrojos

Consideremos ahora un cuerpo no metálico semi-transparente, para simplificar con forma de una placa plana y gruesa de material plástico. Cuando se calienta la placa, la radiación generada dentro de su volumen debe alcanzar las superficies a través del material, en el cual es parcialmente absorbida. Además, cuando llega a la superficie, parte de ella se refleja de vuelta hacia el interior. La radiación de fondo reflejada se absorbe de nuevo, pero parte de ella llega a la otra superficie, a través de la cual escapa en su mayoría; parte de ella se refleja de nuevo. Aunque las sucesivas reflexiones se van haciendo más débiles se deben sumar si se quiere calcular la emitancia total de la placa. Si se suman las series geométricas

resultantes, se obtiene la emisividad efectiva de la placa semi-transparente con la expresión siguiente:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{(1 - \rho_{\lambda})(1 - \tau_{\lambda})}{1 - \rho_{\lambda}\tau_{\lambda}}$$

Esta fórmula representa una generalización de la ley de Kirchhoff, que disminuye cuando la placa se hace opaca ($\tau_0 = 0$) a la forma simple de:

$$\varepsilon_{\lambda} = 1 - \rho_{\lambda}$$

Esta última relación es particularmente útil, porque a menudo es más fácil medir la reflectancia que medir la emisividad directamente.

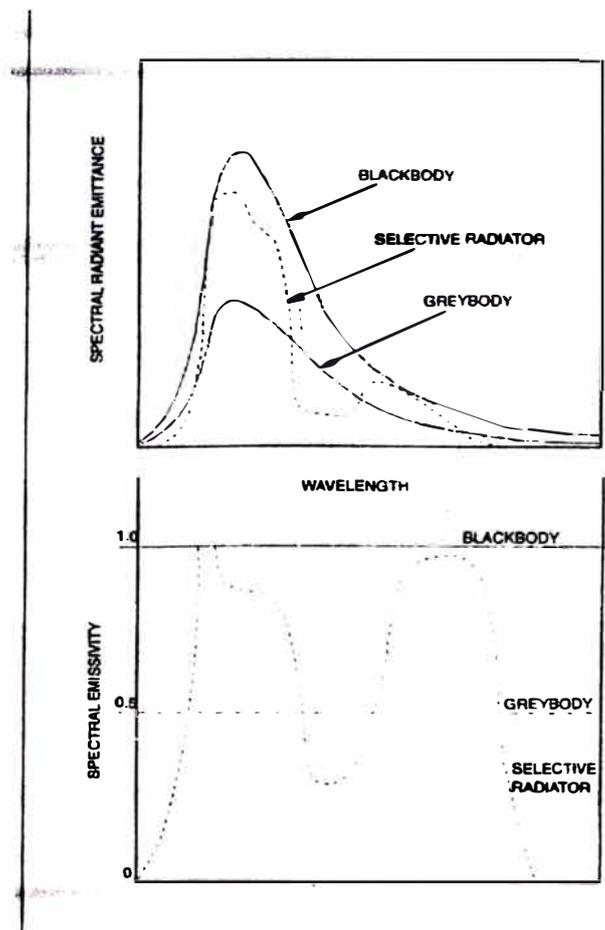


Figura N° 4. Emitancia espectral de radiación y emisividad de tres tipos de radiaciones.

2.3 Por Que Usar La Termografía Infrarroja

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

Con la termografía se focalizan los problemas que deben ser corregidos bajo las técnicas convencionales y además se puede encontrar otros problemas que en circunstancias 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 deberías estar, probables área de falla, e indica también pérdidas excesivas de calor, probable falla de aislamiento defectuosa.

Entre las ventajas de esta técnica, se puede citar:

- La inspección se realiza a distancia sin contacto físico con el elemento en condiciones normales de funcionamiento. Es decir no es necesario poner fuera de servicio las instalaciones.
- Se trata de una técnica que permite la identificación precisa del elemento defectuoso, a diferencia de la pirometría que es una medida de temperatura de un punto.
- Es aplicable a los diferentes equipos eléctricos: bornes de transformadores, transformadores de intensidad, interruptores, cables y piezas de conexión, etc.
- Es utilizable para el seguimiento de defectos en tiempo "cuasi real", lo que permite cuantificar la gravedad del defecto y la repercusión de las variaciones de carga sobre el mismo para posibilitar programar las necesidades de mantenimiento en el momento más oportuno (que puede ir desde el simple

seguimiento a una limitación de carga o a una intervención inmediata antes de que el defecto pueda producir el colapso de la instalación)

- En relación con el mantenimiento tradicional, el uso de la inspección termográfica propicia la reducción de riesgos para el personal, la reducción de indisponibilidades para mantenimiento y su menor costo.

CAPITULO III

MANTENIMIENTO INTEGRADO EN SUBESTACIONES

En el capítulo anterior, se explica la técnica de la termovisión y como nos beneficia en el mantenimiento de los equipos del sector eléctrico y de la industria en general, por ello en el presente capítulo ahondaremos en el mantenimiento de subestaciones, ya que en esta alberga equipos importantes para el sector eléctrico, como se describirá a continuación.

La Disponibilidad de los equipos de las subestaciones, y tomando en cuenta el sistema de trabajo en Sistemas de Potencia (transmisión y distribución, principalmente), el mantenimiento en subestaciones debe estar integrado, es decir, mirar el mantenimiento como un conjunto, cuyos componentes serán en mantenimiento preventivo, correctivo y proactivo.

3.1 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo en subestaciones se divide en dos componentes:

- Inspección visual.
- Mantenimiento preventivo programado o sistemático.
- Inspección termográfica.

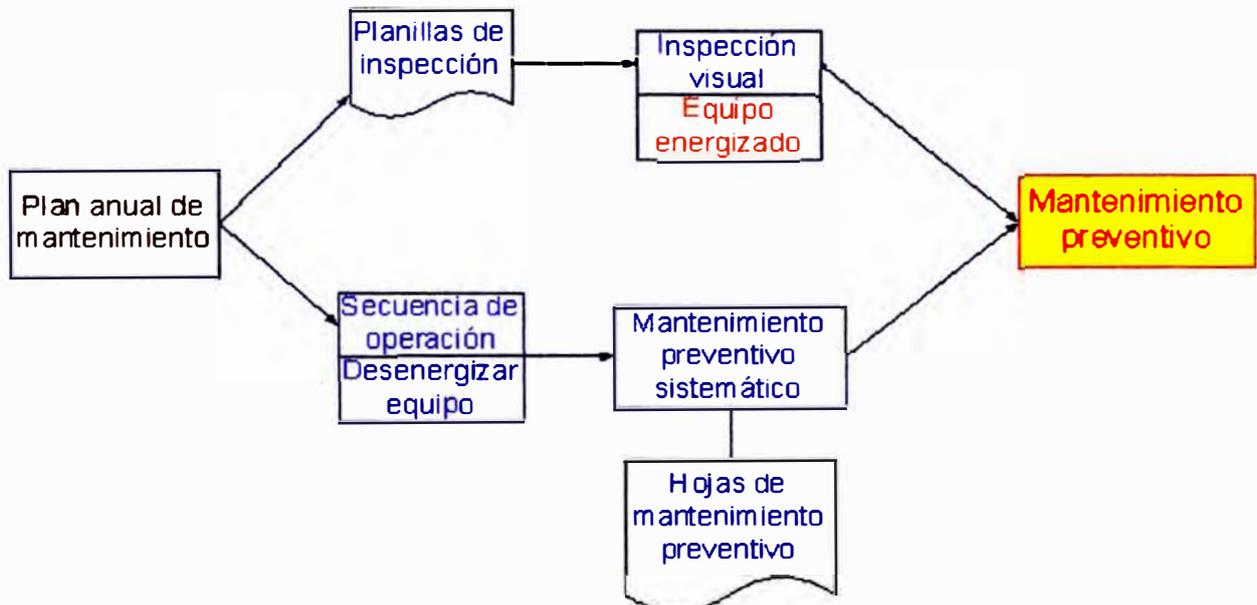


Diagrama N° 1. Mantenimiento Preventivo

3.1.1 Inspección visual.-

Este tipo de mantenimiento se efectúa en forma mensual, sin desenergizar la línea, no utiliza herramientas ni instrumentos en la mayor parte de los casos, y como su nombre lo indica consiste sólo en inspecciones visuales.

Tiene la finalidad de revisar visualmente el estado exterior de los equipos, anotándose en una planilla los resultados de dicha inspección.

Las planillas tienen una casilla por fase, es decir, tres para los equipos, en las que se anotan las letras correspondientes al estado exterior del equipo, según el criterio especificado en el Cuadro N° 1.

CUADRO N° 1. Cuadro de Criterios

Llenado de las planillas de inspección		
Letra	Significado	Estado
G	<p align="center">Grave</p> <p>Significa un estado de avería del equipo mostrado en el exterior, que implicará programación de un mantenimiento correctivo.</p>	<p>Cimientos quebrados, falta de perfiles o pernos de la estructura, perfiles dañados, conexión a tierra suelta, cables sueltos (no aislados) en el mando, baja densidad en las celdas del banco de baterías, manchas graves de aceite, fuga del aislante (SF6, aceite), porcelanas seriamente dañadas, rotas o fogoneadas, falta de aisladores o seriamente dañados, conductores sueltos o hebras rotas, iluminación fuera de servicio, falta de fusibles, presencia de humedad, daños en manómetros, vacuómetros o medidores de temperatura, radiadores rotos, bajo nivel en las celdas, banco de baterías, averías en cubicales, silicagel no azul, daños en anillos equipotenciales</p>
L	<p align="center">Leve</p> <p>El daño es menor, avería menor que puede solucionarse cuando se efectúe el mantenimiento programado.</p>	<p>Leve daño en porcelanas, polvo en el mando, daños menores en el mando, aisladores rajados, manchas leves de aceite o de óxido, polvo en las porcelanas, falta de señalización de seguridad, el patio no está limpio, visores de aceite sucios</p>
S	<p align="center">Sin novedad</p> <p>Significa que el equipo está en buen estado, visto exteriormente, implica la ausencia de los casos antes señalados.</p>	

Existen ciertos ítems que se observan a la hora de hacer una inspección visual, y se registran el estado de estos ítems en las planillas de inspección, según lo antes

mencionado. Para los equipos de una subestación, se especifican en el Cuadro N°

2:

CUADRO N° 2. Descripción a que partes de los equipos se debe inspeccionar y anotar su condición.

EQUIPOS	DESCRIPCIÓN
TRANSFORMADOR DE POTENCIA	Construcciones civiles, tanque, conexión a tierra, porcelanas de los bushings, limpieza general, tanque conservador, radiadores, ventiladores, silicagel, relé Buchholz, cambiador de taps, manómetro, vacuómetro, nivel de aceite, indicador de temperatura, caja de control, terciario, temperaturas de aceite y bobinas.
INTERRUPTORES (aceite, SF6, vacío, aire)	Fundaciones civiles, estructura, conexión a tierra, porcelanas, indicador de estado, mando, borneras, calefacción, hermeticidad, fugas de aceite, presión de gas (N2), número de operaciones, hermeticidad
TRANSFORMADORES DE MEDIDA (CT's, PT's, CCPD's)	Fundaciones civiles, estructura, conexión a tierra, porcelanas, visor de aceite, nivel de aceite, calefacción, caja de borneras, nivel de N2, capacitor.
SECCIONADORES	Fundaciones civiles, estructura, conexión a tierra, porcelanas, hermeticidad mando, relé de conexión a tierra Pararrayos Fundaciones civiles, estructura, conexión a tierra, porcelanas, anillo equipotencial, número de descargas, conexión de potencia.
BANCO DE CAPACITORES	Fundaciones civiles, estructura soporte, conexión a tierra, malla de seguridad, señalización, aisladores conexiones, fugas.
BANCO DE BATERÍAS	Estructura soporte, conexión a tierra, ventilación, tensión de banco, tensión de cada celda, nivel, temperatura, densidad.

3.1.2 Mantenimiento preventivo sistemático

Consiste en una serie de pruebas a realizar en los equipos para verificar su estado. El trabajo tiene carácter preventivo, pero también engloba al mantenimiento predictivo, y en algunos casos al correctivo.

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 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 eléctrico, pero de todos modos requerirá de una coordinación con los responsables de operación. Las técnicas de Mantenimiento Predictivo que se aplican en subestaciones, en base a recomendaciones de normas internacionales (IEC-76, IEC-72).

a. Inspección termográfica

Se utiliza, mediante el empleo de cámaras de termovisión infrarroja, para localizar defectos por calentamiento, particularmente en piezas de contacto de seccionadores, bornas y grapas de conexión de los equipos, tomando como

referencia la temperatura ambiente y la de otra fase sana. Se aplica mediante un barrido de todas las conexiones eléctricas en un parque y permite registrar la distribución de temperaturas en un equipo que se encuentre en las condiciones de régimen normal de servicio.

b. Medida de tensión de paso y contacto

En las instalaciones eléctricas se producen de forma circunstancial, corrientes de defecto a tierra que generan elevaciones del potencial del terreno, que pueden llegar a ser peligrosas para las personas que trabajen en ellas. Para garantizar que estos potenciales no sean peligrosos, las normas, definen los valores máximos admisibles de tensión y el método de medida de la tensión de paso y contacto, mediante inyección de corriente en la red de puesta a tierra. Asimismo, se establece la necesidad de medir las tensiones que se puedan transferir fuera de la subestación y la determinación de la resistencia de difusión a tierra de una subestación, recién construida o en funcionamiento, para verificar su estado de conservación con el paso del tiempo.

c. Medida de resistencia de contacto

Las características eléctricas de un contacto, en elementos de maniobra, dependen del número de interrupciones y de la energía del arco acumulada, ya que provocan el desgaste de sus componentes, pérdida de presión de contacto y presencia de impurezas al depositarse una película particularmente aislante en la superficie. Asimismo, los esfuerzos que se producen durante las fallas, la acción del viento y las vibraciones transmitidas durante las maniobras, empeoran las características mecánicas de los puntos de conexión de los equipos. El control del valor de la resistencia eléctrica en las uniones de

conductores que forman un circuito eléctrico, permite determinar la máxima intensidad que puede circular a través de ellas, sin que se sobrepasen los límites de calentamiento admitidos para cada tipo de material que componen la unión.

c.1 Resistencia dinámica en interruptores.

Debido al diseño de los contactos en algunos interruptores, que disponen de contactos principales y de arco, se aprovecha durante la realización de la curva de desplazamiento de los mismos, para registrar de forma continua la caída de tensión en la cámara de corte al inicio y fin de las maniobras de apertura y cierre.

c.2 Resistencia dinámica de los cambiadores de tomas en carga

Una parte importante de los fallos en los transformadores de potencia son causados por el envejecimiento de los contactos del cambiador de tomas en carga (CTC). La inspección del estado de los contactos del selector resulta laboriosa por su ubicación.

Actualmente se está aplicando un nuevo método para diagnosticar el estado de los contactos deslizantes durante el proceso de conmutación evitando el desmontaje para la inspección, basado en la obtención del oscilograma correspondiente al cambio de intensidad debido a la influencia del valor de las resistencias que interviene durante la conmutación en cada toma de regulación de tensión (resistencias de conmutación, contacto y del arrollamiento correspondiente).

d. Medida de resistencia de devanados

La resistencia eléctrica del arrollamiento de los devanados en los transformadores se altera por la existencia de cortocircuitos entre espiras, defectos térmicos en su aislamiento por deficiencias en los contactos del regulador en carga del transformador. El control del valor de esta resistencia facilita la toma de decisiones de mantenimiento, especialmente en intervenciones por avería.

e. Medidas de tiempos de maniobra

Una de las principales medidas que se realizan en el mantenimiento de seccionadores con mando eléctrico o neumático y especialmente en interruptores, consiste en el control de los tiempos propios requeridos en la realización de maniobra de cierre y apertura. El control de estos valores posibilita los ajustes precisos para garantizar la correcta operación de los equipos y permite programar adecuadamente la revisión necesaria para sustituir piezas y componentes.

e.1 Sincronismo entre cámaras del interruptor

La medida del tiempo de maniobra en cada una de las cámaras del interruptor permite conocer el nivel de sincronismo alcanzado por los contactos, tanto linealmente (entre cámaras de corte de cada fase) como transversalmente (entre fases) facilitando una información complementaria del balance de energías en la maniobra.

e.2 Tiempo de reposición de energía del mando de accionamiento del interruptor

En interruptores con mando a resortes se mide el tiempo de carga de resortes para poder asegurar que las maniobras son realizadas en condiciones óptimas. En mandos neumáticos es necesario verificar la actuación de los presostatos. Cuando los tiempos obtenidos difieran o presenten desviaciones significativas con respecto a los valores de referencia, se procederá a la revisión de los sistemas de carga: motores, compresores, conducciones, conexiones eléctricas, tensión, etc.

e.3 Análisis del gráfico de desplazamiento de contactos en interruptores

El método de diagnóstico más utilizado para conocer el estado mecánico de un interruptor se basa en la obtención gráfica de las curvas de desplazamiento de sus contactos principales durante las maniobras de cierre, apertura y cierre sobre falta. Del análisis del gráfico realizado en la propia instalación y cuya interpretación se ve ampliamente apoyada mediante el uso de la telediagnos, se obtienen los siguientes parámetros de control:

- **Carrera total (recorrido).**- Valor definido entre la diferencia desde la posición inicial, antes del comienzo de la maniobra, hasta la posición final alcanzada al término de dicha maniobra.
- **Penetración de contactos.**- Distancia que recorre en la apertura del contacto principal entre la posición de cerrado y la separación eléctrica de contactos.

- **Velocidad de apertura y cierre.-** Se miden en los intervalos del gráfico de desplazamiento indicados por el fabricante: zona de arco en la apertura y de prearco en el cierre.
- **Amortiguación, sobrerrecorridos y rebotes.-** Se analizan en las zonas de referencia del gráfico, observado si la amortiguación es correcta y no se producen sobrerrecorridos, ni rebotes en número y amplitud excesivos.

f. Gráficos de consumo de bobinas y motores

El control del consumo en las bobinas de apertura contribuye al conocimiento del estado de los sistemas eléctricos y mecánicos del interruptor, obteniéndose normalmente del registro gráfico de la intensidad realizado simultáneamente con el registro de desplazamiento de contactos, tiempos de maniobra, y tensión de alimentación en bornes del armario de mando. El registro del consumo del motor facilita una información complementaria a la del tiempo de reposición de energía del mando en interruptores y sirve igualmente para controlar el comportamiento del mando de los seccionadores durante las maniobras.

g. Medida de contaminación depositada en aisladores

Estas medidas tratan de determinar el momento en que la contaminación depositada en el aislador puede alcanzar un valor peligroso, teniendo en cuenta no sólo el tipo de contaminante sino la incidencia atmosférica y geográfica de la subestación. Para ello, se pueden tomar muestras sucesivas de la contaminación depositada y prever su evolución, lo que no siempre es fácil, o medir el número y amplitud de las descargas superficiales mediante un equipo apropiado, cuya información se procesa y registra de forma continua mediante una PC.

h. Medida de corriente de fuga en pararrayos de ZnO

Los pararrayos se encuentran sometidos durante el servicio a la influencia de diferentes sobretensiones, tanto temporales como de maniobra y atmosféricas, que envejecen sus componentes y pueden causar su avería. La evaluación de los pararrayos de ZnO, puede hacerse a partir de la medida y control de la componente resistiva de la corriente de fuga que les atraviesa de forma permanente durante el servicio normal.

i. Medida en clase de precisión en transformadores de potencial

Si bien con el tiempo, la precisión en los transformadores de medida puede verse alterada, en los transformadores de potencial capacitivos se producen con mayor frecuencia variaciones en la relación de transformación debido a la modificación del valor de la capacidad de los condensadores que constituyen el divisor de tensión. La determinación del error de relación de transformación y de ángulo se realiza por comparación de las medidas de tensión registradas, con otro transformador usado como patrón.

j. Análisis del aceite aislante

Los aceites aislantes son componentes esenciales de un gran número de equipos eléctricos, en particular para transformadores de potencia y de medida. La evaluación del estado del aceite aislante en servicio se efectúa atendiendo a los siguientes índices de control: aspecto y color, contenido en agua, índice de neutralización, factor de pérdidas dieléctricas y tensión de ruptura, así como, cantidad de partículas que por tamaño son contabilizadas.

k. Análisis de gases disueltos en aceite

Uno de los métodos de diagnóstico que proporciona una indicación anticipada de anomalías en su comportamiento funcional y permite determinar las medidas que conviene adoptar antes de que el equipo sufra daños más importantes se basa en el análisis cromatográfico de los gases de descomposición del aceite aislante por calentamiento excesivo de ciertos puntos del transformador o por descargas eléctricas en su interior. Según sea la temperatura del punto caliente la energía de las descargas, las proporciones en que se producen los diferentes gases de descomposición son distintas. Por efecto de las sollicitaciones térmicas o eléctricas, los aceites aislantes dan lugar a los siguientes gases de descomposición: hidrógeno, metano, etano, etileno, acetileno, monóxido y dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno. Determinando el contenido de cada gas, la valoración global y la relación entre las concentraciones de los diferentes gases y su evolución, se puede conocer no solamente la existencia de un defecto, sino también el tipo del mismo y su importancia. Más recientemente, al análisis mencionado anteriormente se acompaña con la valoración de la concentración de los derivados del furfulaldehído, que resultan de la degradación térmica de la celulosa incorporada en los aislamientos sólidos del transformador.

l. Medidas del ruido y vibraciones

Estas medidas son útiles para la detección de fallos incipientes en equipos que contengan piezas mecánicas en movimiento o sometidas a vibración por rozamiento con fluidos, campos magnéticos alternos, etc.

m. Medidas de aislamiento eléctrico

Los aislamientos eléctricos de los equipos de AT constituidos por aceite, porcelana, papel, resinas, gas SF₆, etc., son susceptibles de envejecimiento por el paso del tiempo y las condiciones de servicio, dando lugar a una pérdida progresiva de sus características dieléctricas, que requiere el control de su evolución. Este control se lleva a cabo por medio de las técnicas relacionadas a continuación.

m.1 Medida de resistencia de aislamiento en corriente continua

Corresponde principalmente a la medida de la conductividad superficial del aislamiento y se utiliza en la detección de un fallo inminente. Facilita la decisión de intervención inmediata, así como el conocimiento de la tendencia a largo plazo de un deterioro progresivo y la estimación global del nivel de aislamiento realmente existente.

m.2 Medida de la tensión de resorción del aislamiento papel-aceite

El efecto de polarización de un dieléctrico cuando es sometido a tensión y la medida de la tensión de descarga del aislamiento determina en función del tiempo previo de carga, la curva del espectro de polarización. Este ensayo se utiliza para conocer el grado de envejecimiento del aislamiento de papel impregnado en aceite, influenciado por el contenido de humedad, la temperatura y por la absorción de productos de descomposición.

m.3 Medida de pérdidas dieléctricas y capacidad

Con la medida del factor de potencia o tangente del ángulo de pérdidas en aislantes sólidos y líquidos se puede detectar la presencia de un efecto, aunque

existan capas de aislante en buen estado en serie con el defectuoso, permitiendo aislar en la medición el efecto del aislamiento externo. La variación de la capacidad de un aislamiento prueba la existencia de condiciones anormales, como presencia de humedad, secciones de condensador cortocircuitadas o interrumpidas. Defectos a tierra del blindaje, deformación de bobinados en transformadores de potencia y deficiencias en condensadores de reparto de tensión entre otras.

m.4 Medida de descargas parciales

El envejecimiento de los aislamientos se manifiesta, en ocasiones, por la presencia de descargas de alta frecuencia cuyo trayecto puentea, sólo parcialmente, el aislamiento entre conductores. A ello contribuye de manera importante, además de las sobretensiones, el incremento de temperatura del equipo. La medida de descargas parciales, que desde hace tiempo es una parte esencial de los ensayos de calificación eléctricos y por ello se encuentra muy desarrollada a nivel de laboratorio, puede incurrir en errores de medida en su adaptación a campo, si no se eliminan las señales de interferencia. Esta técnica se utiliza en la actualidad principalmente en el mantenimiento de transformadores, cables de potencia y en subestaciones encapsuladas de SF₆. Las técnicas existentes pueden clasificarse de acuerdo con las magnitudes a medir y la unidad de capacitación utilizada, tales como: medida de la intensidad aparente de descarga a tierra en la banda de frecuencia dominante (disponiendo de sensor inductivo para su detección), medida de energía de arco (instalando sensores térmicos en aislamientos de SF₆) y detecciones acústicas.

m.5 Medida de la corriente de excitación en transformadores de potencia

La medida de la corriente de excitación a tensión reducida puede utilizarse en campo para localizar ciertos defectos relacionados con el aislamiento de la estructura del núcleo y chapas magnéticas, fallos en el aislamiento entre espiras del devanado y deficiencias en los dispositivos de conmutación del regulador de tensión.

m.6 Medida de la reactancia de dispersión en transformadores de potencia

El valor de la reactancia de pérdidas a menudo referida al ensayo de impedancia de cortocircuito en laboratorio, es sensible al cambio de la geometría configurada por las líneas de flujo, y su medida en campo, utilizando baja tensión, puede revelar movimientos y deformaciones de los devanados, circuitos abiertos o cortocircuitos entre espiras.

n. Respuesta de los devanados a diferentes frecuencias

El devanado de los transformadores está formado por una distribución de resistencia, inductancia y capacitancia que presenta una respuesta muy definida en amplitud y fase, a los cambios de frecuencia en baja tensión. El registro y comparación de dichas respuestas para diferentes bancos de frecuencia permite la detección de variaciones en la distancia entre espiras y deformaciones en el devanado.

CUADRO N° 3. Cuadro de la Frecuencia a dar Mantenimiento a los equipos que componen una Subestación.

Técnica de diagnóstico o actividad	Estado del equipo	Frecuencia
TRANSFORMADORES DE POTENCIA		
Análisis del aceite aislante		
Físico – químico de calificación	Desenergizado	Anual
Gases disueltos	Desenergizado	Anual
Medidas dieléctricas		
Capacidad entre devanados y a tierra	Desenergizado	Anual
Factor de potencia	Desenergizado	Anual
Resistencia de aislamiento en corriente continua	Desenergizado	Anual
Tensión resorción papel – aceite	Desenergizado	Anual
Medidas eléctricas		
Relación de transformación	Desenergizado	Anual
Resistencia de devanados	Desenergizado	Anual
Reactancia de dispersión	Desenergizado	Anual
Corriente de excitación	Desenergizado	Anual
Análisis de respuesta a diferentes frecuencias	Desenergizado	Anual
Respuesta dinámica del cambiador de tomas	Desenergizado	Anual
Inspecciones Termográficas	Energizado	Anual
Medida de ruido y vibraciones	Energizado	Tres años
Limpieza de bushings	Desenergizado	Anual
Limpieza de tanque	Desenergizado	Anual
Limpieza y revisión de válvulas	Desenergizado	Anual
Limpieza del sistema de refrigeración	Desenergizado	Anual
Consumo motores de ventilación	Desenergizado	Anual
Limpieza del sistema de protección y control	Desenergizado	Anual
INTERRUPTORES		
Resistencia circuito principal y conexiones	Desenergizado	Anual
Resistencia dinámica	Desenergizado	Tres años
Resistencia de aislamiento en corriente	Desenergizado	Anual

continua		
Tiempos de maniobra y sincronismo entre contactos	d / e	Anual
Inspecciones Termográficas	Energizado	Anual
Análisis gráfico movimiento interruptor		
Recorrido de contactos	Desenergizado	Anual
Penetración de contactos	Desenergizado	Anual
Velocidad de apertura y cierre	Desenergizado	Anual
Amortiguación, sobrerrecorridos y rebotes	Desenergizado	Anual
Análisis gráfico consumo de bobinas	Desenergizado	Anual
Control sistema de acumulación de energía		
Tiempo de reposición	Desenergizado	Anual
Intensidad motor de carga resortes	Desenergizado	Anual
Consumo energía maniobras	Desenergizado	Anual
Control medio de extinción		
Rigidez dieléctrica, niveles (PVA)	d / e	Tres años
Presión, consumo, humedad (aire)	d / e	Tres años
Humedad, acidez, calidad gas (SF6)	d / e	Tres años
Comprobación fugas de aislante (SF6)	Desenergizado	Anual
Limpieza de porcelanas	Desenergizado	Anual
Limpieza del mando	Desenergizada	Anual
Engrase y/o lubricación del mecanismo de accionamiento	Desenergizado	Anual
Ajustes y/o reemplazo en el cableado del mando	Desenergizado	Anual
Revisión del varillaje del mecanismo de accionamiento	Desenergizado	Anual
SECCIONADORES		
Resistencia circuito principal y conexiones	Desenergizado	Anual
Tiempos de maniobra	Desenergizado	Anual
Consumo energía por maniobra (motores)	d / e	Anual
Limpieza del mando	Desenergizado	Anual
Ajustes en el cableado del mando	Desenergizado	Anual
Inspecciones Termográficas	Energizado	Anual

PARARRAYOS		
Medidas dieléctricas		
Factor de potencia	Desenergizado	Anual
Medida de corriente de fuga (ZnO)	Energizado	Tres años
Medida descargas parciales	Energizado	Tres años
Inspecciones Termográficas	Energizado	Anual
Limpieza porcelanas	Desenergizado	Anual
TRANSFORMADORES DE MEDIDA		
Análisis de aceite aislante		
Físico – químico de calificación	Desenergizado	Tres años
Gases disueltos	Desenergizado	Tres años
Medidas dieléctricas		
Capacidad	Desenergizado	Anual
Factor de potencia	Desenergizado	Anual
Inspecciones Termográficas	Energizado	Anual
Medida de descargas parciales	Energizado	Tres años
Medida clase de precisión	Energizado	Tres años
Medidas eléctricas		
Relación de transformación	Desenergizado	Anual
Resistencia de devanados	Desenergizado	Anual
Corriente de excitación	Desenergizado	Anual
Reactancia de dispersión	Desenergizado	Anual
Limpieza de porcelanas	Desenergizado	Anual
Limpieza de la bornera	Desenergizado	Anual
Ajuste y/o reemplazo del cableado en la bornera	Desenergizado	Anual
BANCO DE CAPACITADORES		
Medida de Capacitancia		
Del banco	Desenergizado	Anual
Del ramal	Desenergizado	Anual
De cada unidad	Desenergizado	Anual
Limpieza general	Desenergizado	Anual
Inspecciones Termográficas	Energizado	Anual

3.1.3 Inspección termográfica

La inspección termográfica se realiza con equipo energizado, y es una actividad que abarca a toda la subestación, y un elemento necesario del mantenimiento preventivo-predictivo.

Para la termografía es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Temperatura ambiente.
- La fase que se toma como fase de referencia.
- Si el equipo presenta anomalías cuando se efectúa la inspección termográfica estas imágenes podrán ser analizadas luego en una PC.
- Tiempo correspondiente a la realización de la medición termográfica.

CUADRO N° 4. En la inspección el Termógrafo analiza los puntos indicados a continuación.

EQUIPOS	DESCRIPCIÓN
Transformador de Potencia	Tanque del transformador, bushings, conexiones de potencia, terciario, sistema de refrigeración, ventiladores, sistemas de protección y control
Interruptores	Cámara de corte, mando, motor de accionamiento, conexiones del mando, conexiones de potencia
Seccionadores	Mordaza de cierre, conexiones de potencia, mando, motor de accionamiento, conexiones de control
Transformadores de Medida	Conexiones de potencia, conexiones de control, bornera, embobinado, tanque
Banco de Capacitores	Banco, ramales, conexiones de potencias de los ramales
Barras colectoras	Conexiones en aisladores, aisladores, barras, soportes
Pararrayos	Pararrayos, conexiones de potencia, conexión de descarga a tierra, anillo equipotencial

CUADRO N° 5. Programación de las actividades de mantenimiento preventivo.

CIRCUITO	PROGRAMACIÓN	CRITERIO
LLEGADA	<ul style="list-style-type: none"> • Fines de semana. • Días de menor consumo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere coordinación con las empresas o centros de costo que despachan la energía a la SS.EE. donde se va a realizar el mantenimiento. - Para desenergizar la llegada debe desenergizarse también la línea de llegada. - Al reducirse el flujo de potencia de llegada, también se reducirá el flujo de potencia despachada.
SALIDA	<ul style="list-style-type: none"> • Fines de semana. • Días de menor consumo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere coordinación y aviso a los consumidores o centros de costo a los que se despacha la carga. - El flujo de potencia de salida se reduce.
INTERCONEXIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Días particulares. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debido a sus características es posible programar las intervenciones en días particulares. - El flujo de potencia puede desviarse por otro circuito similar.
TRANSFORMACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Fines de semana. • Días de menor consumo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debido a su complejidad y a que son los encargados de la transmisión de potencia, se deben buscar días de menor consumo para programar la intervención. - La complejidad de estos circuitos y la cantidad de equipos que los componen, obliga a que las actividades se programen al menos para dos días.
BARRAS COLECTORAS	<ul style="list-style-type: none"> • Fines de semana o días de menor consumo. • Días particulares. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ya que los equipos se conectan a las barras para tomar la energía a transmitir, para desenergizar la barra se requiere desenergizar gran parte de la subestación, para disposiciones de simple barra. - Si el sistema tienen una disposición de barra partida o de más de una barra, es posible desenergizar la barra en la cual se va a efectuar el mantenimiento sin interrumpir el servicio, pero aún así existirán equipos que deban quedar desenergizados.
CIRCUITOS ESPECIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Días particulares. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ya que la función de estos circuitos no consiste en la transmisión de potencia o interconexión de circuitos, es posible programar las intervenciones en cualquier día.

El tiempo de duración de estas actividades, o también denominadas “jornadas de Mantenimiento”, dependerá de la complejidad de la “bahía” donde se lleve a cabo esta actividad, aunque generalmente suele variar de 4 a 8 horas.



Diagrama N° 2. Mantenimiento Correctivo

3.2 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo puede considerarse dividido en dos partes:

- Mantenimiento correctivo programado.
- Mantenimiento correctivo por avería.

El mantenimiento correctivo por averías se presenta cuando existe una falla o avería grave de algún o algunos equipos de la subestación, estas averías se presentan por causas ajenas a la voluntad de los responsables de la subestación, y se deben a factores externos: condiciones climáticas, daños de terceros, problemas en la línea de transmisión o distribución.

El mantenimiento preventivo programado es una actividad correctiva que implica reparación y reemplazo de piezas que tiene carácter preventivo, ya que en función

de las condiciones del equipo o de ciertos parámetros se efectúan las reparaciones con la intención de anticiparse y prevenir daños mayores que afecten a la disponibilidad del equipo.

Puede ser debido a las siguientes razones:

a. Número de operaciones

Es una condición que obliga a la intervención de un mantenimiento correctivo planificado en interruptores. Después de cierto número de operaciones por falla u operaciones manuales de un interruptor, el aislamiento es afectado y los contactos se llenan de cavitaciones en su superficie, debido a los esfuerzos electrodinámicos a los que han estado sometidos, lo que obliga a una intervención en el equipo.

CUADRO N° 6. Actividades de Mantenimiento en Interruptores.

ACTIVIDAD	DESCRIPCION	EQUIPO	ACCION
Cambio del aislante	Implica el reemplazo del medio aislante, sin necesidad de la comprobación de su Estado	Interruptor de aceite	Cambio del aislante (aceite)
		Interruptor de gas (SF6)	Cambio del aislante (gas SF6)
		Interruptor de vacío	Cambio de los módulos de vacío
		Interruptor de aire	Cambio del tanque de aire comprimido
Cambio de los contactos de la cámara de corte	Debido a los esfuerzos electrodinámicos a los que han estado sometidos los contactos muestran cavitaciones, los que luego se pueden rellenar con soldadura por personal calificado Interruptor de aire Cambio de contactos, que luego pueden rellenarse con soldadura	Interruptor de aceite	Cambio de contactos, que luego pueden rellenarse con soldadura
		Interruptor de gas (SF6)	Cambio de contactos, que luego pueden rellenarse con soldadura
		Interruptor de vacío	Cambio de módulos de vacío, posteriormente se comprueba el estado de los módulos cambiados
		Interruptor de aire	Cambio de contactos, que luego pueden rellenarse con soldadura

b. Resultados de las inspecciones

Si los resultados de las inspecciones visuales o termográficas revelan que el estado de algún equipo o de alguno de sus componentes es grave (G) o existen anomalías (A), será necesario programar una intervención en el equipo para efectuar las reparaciones correspondientes.

c. Resultados de mantenimiento preventivo

Las técnicas de diagnosis aplicadas durante el mantenimiento preventivo programado tienen la finalidad de revelar el estado de los equipos de la subestación, para poder anticiparse a las fallas y averías; si el diagnóstico revela mal estado o menor que el admisible, será necesario programar una intervención.

3.3 Mantenimiento Proactivo

El mantenimiento proactivo consiste en el estudio de fallas y análisis de la actividad de mantenimiento, para poder obtener conclusiones y dar sugerencias para mejorar la función de mantenimiento.

El estudio de incidencias y análisis de fallas es una actividad relacionada con la subestación en general. La programación de esta actividad y su realización dependerá del criterio de la empresa, en función de los problemas que se desee analizar.

3.3.1 Grupo de trabajo

A cargo de esta actividad podría estar un grupo de trabajo, consistente en un Círculo de Mantenimiento que a su vez es dirigido por los responsables de mantenimiento. Pueden existir varios círculos de mantenimiento, encargados de

diferentes aspectos del servicio de mantenimiento o de diferentes componentes del sistema.

Los responsables de mantenimiento les darán a los Círculos de Mantenimiento determinados problemas a estudiar, y éstos se encargarán de elaborar las propuestas y sugerencias para dar solución a los problemas.

El problema o evento objeto de análisis, es estudiado por el CM correspondiente, para esto se le dará al CM toda la información necesaria.

El CM analiza el problema y obtendrá propuestas de soluciones al respecto, las cuales se plasmarán en un informe de propuesta de soluciones.

Esta propuesta de soluciones se entrega al responsable de mantenimiento o al cuarto nivel de intervención.

Si las propuestas no son aprobadas, el CM debe analizar nuevamente el problema.

Si las propuestas son aceptadas, éstas se presentan a jefatura, que aprueba la implantación de la propuesta.

Mientras se implantan las propuestas, los CM hacen seguimiento a dicha implantación, con la supervisión del cuarto nivel o del responsable de mantenimiento.

3.3.2 Actividades del mantenimiento proactivo

Entre las actividades que se realizan en el mantenimiento proactivo, están principalmente:

a. Clasificación de fallas

Se comienza por la elaboración de una lista de posibles fallas o averías que pudieran presentarse: información obtenida a partir de los históricos y OT's de pasadas gestiones, ideas aportadas por los miembros del grupo de trabajo, ideas obtenidas a partir de cuestionarios respondidos por todos los miembros de Mantenimiento o Tormenta de Ideas, eventos ocurridos en otras empresas o un Benchmarking. Luego de elaborada la lista sintetizada, se procede a elaborar un diagrama Causa-Efecto, también conocido como diagrama de Ishikawa, a partir de éste se pueden clasificar los eventos.

b. Determinación de recursos del mantenimiento correctivo

La determinación de recursos el mantenimiento correctivo, consiste en preparar anticipadamente, un listado de recursos necesarios en caso de que se presenta algún tipo de falla que requiera la intervención del mantenimiento correctivo, en otras palabras, consiste en saber "lo que se necesita tener a mano" según el caso que se presente. En base a la clasificación de posibles fallas como en el inciso anterior, se puede elaborar una lista de "síntomas" o datos que se podrían tener en caso de que ocurriese una falla cualquiera, previamente seleccionada por el grupo de trabajo, luego se determinan los recursos necesarios para la atención de dicha falla, se hace lo mismo con otras fallas, similares o no, luego se puede tener un listado de recursos necesarios para mantenimiento correctivo, se pueden clasificar los mantenimientos correctivos en grupos según los recursos que consuman, y lo más útil de este trabajo es que, según los "síntomas" podrá saberse qué recursos son indispensables, necesarios y no necesarios.

c. Identificación de elementos o eventos más frecuentes

El estudio de incidencias permitirá identificar aquellos eventos o elementos que se presentan con mayor frecuencia para priorizar su atención, y de esta manera estudiar la reducción de sus efectos e incidencias. Para esto se utiliza una herramienta denominada análisis de Pareto. El método de Pareto consiste en una serie de pasos que finalizan en la clasificación de eventos en clases de prioridad. Este análisis podría ayudar a establecer gastos innecesarios y no detectados, gastos sobredimensionados, peor en especial a ver los problemas que requieren mayor atención, o atención inmediata.

d. Reprogramación de actividades

El mantenimiento no sólo consiste en seguimiento de procedimientos y recomendaciones, sino que también debe tener la tendencia a ser menos costoso en cada gestión. Algunas veces el tiempo programado no resulta suficiente para realizar todas las actividades planificadas para cierto equipo o circuito, esto puede solucionarse incrementado el tiempo programado para las intervenciones, o reduciendo las actividades (pruebas) a realizar. El primer caso no es muy aplicable en sistemas eléctricos, ya que prolonga la interrupción del servicio, lo cual trae sus respectivas consecuencias a la empresa. El segundo caso es más aplicable, aunque requiere de un estudio previo, no consiste en la eliminación de actividades, sino en el cambio de frecuencia de la realización de las mismas, es decir que algunas actividades podrían realizarse anualmente, y otras con otra frecuencia, por ejemplo, tri anual. El mantenimiento proactivo en este caso actúa también como preventivo al determinar los tiempos mínimos y máximos aceptables para la realización de ciertas pruebas en equipos específicos. Este análisis se efectúa luego de realizadas las actividades de mantenimiento programado, y es un proceso

que requiere tiempo, incluso años, para la obtención de conclusiones. Las ventajas de la reprogramación de actividades es que reducen tiempos y costos de mantenimiento preventivo, ya que al no tener que efectuarse ciertas pruebas anualmente, se reduce la cantidad de instrumentos y personal necesarios para dicha actividad.

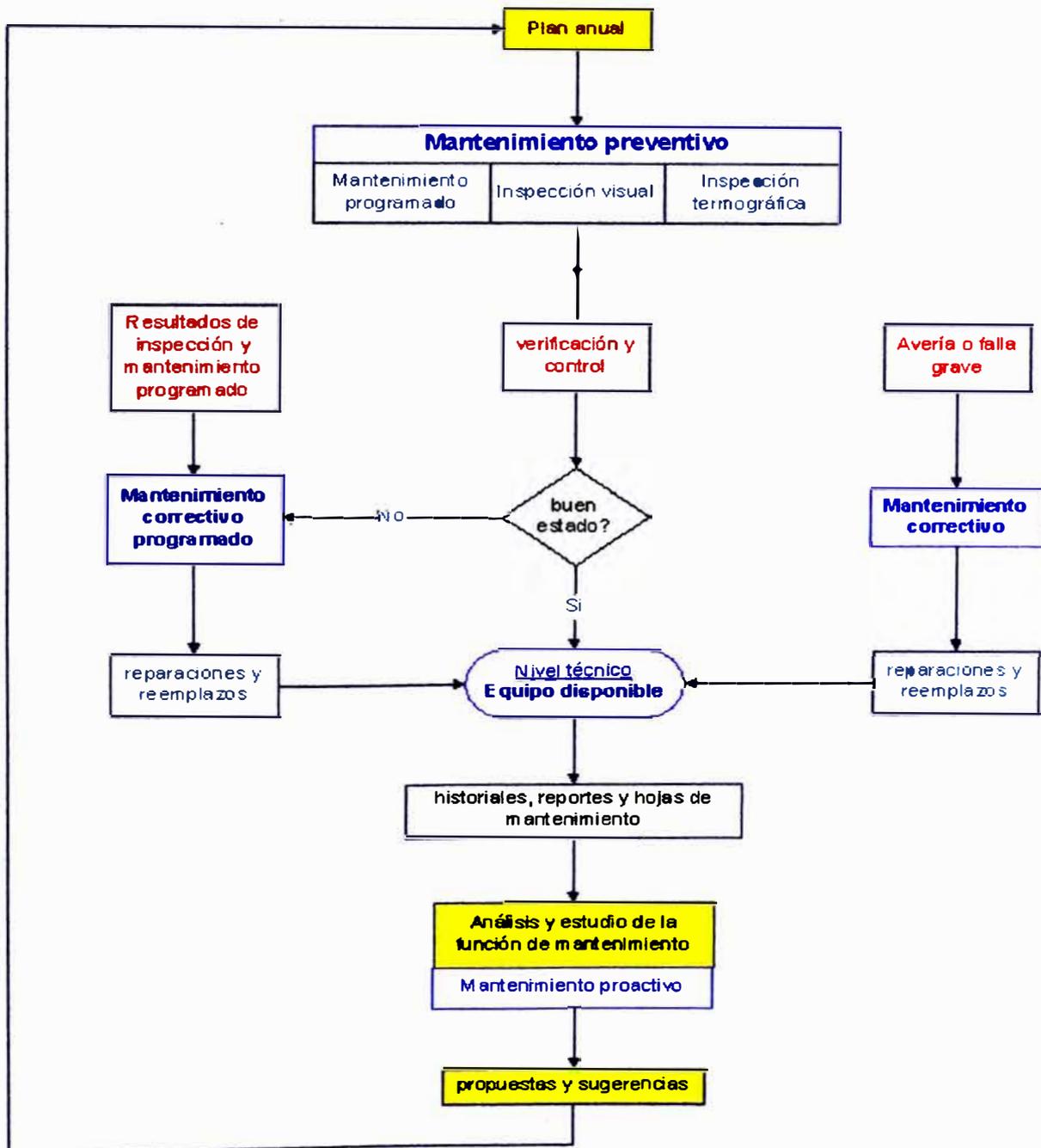


Diagrama N° 3. Organigrama del Mantenimiento Integrado

CAPITULO IV

INSPECCIONES TERMOGRÁFICAS

Más rápido, mejor y más eficiente a un menor costo, son las preocupaciones que enfrentamos a diario en la industria y el sector eléctrico de nuestro país. Para conseguir este objetivo las plantas tienen que funcionar sin paradas en la producción ni pérdidas de tiempo.

Si pudiéramos ver cuando los componentes están a punto de fallar, podríamos decidir con precisión el mejor momento para realizar las correspondientes acciones correctivas. Desafortunadamente, los peores problemas no aparecen hasta que ya es demasiado tarde.

Por tal motivo, es que se hace necesaria la implementación del mantenimiento integral, el cual incluye el uso de las cámaras infrarrojas o de termovisión para poder de esta manera darnos cuenta en forma inmediata, a través de los infrarrojos, la existencia de un problema.

4.1 Selección De Cámara Termográfica

Encontrar un problema con una cámara infrarroja puede no ser suficiente en muchas ocasiones. De hecho, una imagen infrarroja por si sola, sin medida precisa de temperatura, dice muy poco del estado de una conexión eléctrica o de un componente mecánico desgastado. Muchos elementos eléctricos tienen una temperatura de trabajo habitual significativamente superior a la temperatura ambiente. Una imagen infrarroja sin medida puede ser engañosa porque puede mostrar visualmente un defecto inexistente.

Las cámaras infrarrojas que incorporan medida de temperatura nos permiten realizar informes con criterio sobre las condiciones de elementos eléctricos y mecánicos. Las medidas de temperatura se pueden comparar con medidas históricas del mismo componente o con los valores de imágenes infrarrojas de equipos similares al mismo tiempo, para determinar si el incremento de temperatura comprometerá la fiabilidad del componente o la seguridad de las instalaciones.

El almacenamiento digital de imágenes, disponible en la mayoría de los sistemas de FLIR Systems, proporciona imágenes térmicas calibradas con una cantidad aproximada de 78.000 puntos accesibles en cualquier momento para su medida de forma individualizada.

4.1.1 Características Técnicas de Thermacam P640

El equipo Thermacam P640 presenta las siguientes características técnicas:

Cámara profesional de infrarrojos de 640 x 480 píxeles

FLIR Systems presenta la primera cámara de infrarrojos portátil con un detector no refrigerado que proporciona imágenes de gran calidad de 640 x 480 píxeles.

La ThermaCAM P640 es la herramienta perfecta para el termografista profesional que conoce las prestaciones que debe ofrecer un sistema y que trabaja durante varias horas al día.

La ThermaCAM P640 no es simplemente otra cámara de infrarrojos. En combinación con el nuevo software ThermaCAM Reporter™ es la solución completa para inspecciones infrarrojas eficientes y la generación de los informes correspondientes.

Potentes lentes infrarrojas

Una lente de gran diámetro que permite que más radiación alcance el detector produciendo una imagen de gran calidad y nitidez. Las lentes de Germanio de gran precisión con el mecanismo de enfoque integrado, el USM, están diseñadas para obtener las máximas prestaciones de los detectores FPA de alta resolución. La cámara se puede enfocar manualmente girando el anillo de la lente o mediante autoenfoco.

Cámara digital de alta calidad

Lentes intercambiables con apertura ajustable para mostrar imágenes visuales de gran calidad en cualquier condición.

Visor ajustable

La ThermaCAM P640 incorpora un visor de alta resolución. El visor es ajustable y puede adaptarse a cada usuario. Es la solución perfecta para exteriores o cuando el monitor LCD no pueda ser utilizado.

Iluminación integrada

Permite obtener imágenes nítidas incluso en condiciones de oscuridad.

Monitor LCD brillante y de gran tamaño

Monitor LCD de gran tamaño, de 5.6", y abatible. Permite ver el mínimo detalle en diferencias de temperatura.

Asa giratoria con botones de acceso directo integrados.

El asa giratoria permite mover la cámara a la posición más adecuada. Los botones y el joystick para controlar la cámara están integrados en la asa y siempre permanecen bajo la yema de los dedos. El control de la ThermaCAM P640 se hace mediante un joystick y unos botones, como el acceso a funciones, autoenfoco, congelado y almacenamiento de imagen.

Botones de acceso directo programables

Para aumentar la flexibilidad el operario puede programar los botones que están localizados en el lateral de la ThermaCAM P640. Mediante estos botones se puede: cambiar paletas de colores, ajustar la emisividad o el rango de temperatura, activar herramientas de análisis como puntos, áreas.

Puntero láser

Mediante un botón se activa el puntero láser Locat IR que le ayudará a asociar el punto caliente de la imagen infrarroja con el punto físico del objeto medido.

Interfaces flexibles

Acceso rápido a conexiones de vídeo compuesto, USB, FireWire. Conexión directa dentro de la cámara para cargar la batería.

Doble posibilidad de almacenamiento

Las imágenes JPEG y/o las películas de vídeo MPEG se almacenan en la tarjeta extraíble SD. Se pueden almacenar miles de imágenes en estas tarjetas SD de alta capacidad. Hay disponibles 2 ranuras para tarjetas SD.

Conectividad fácil y estándar

La conexión USB o FireWire permiten un volcado rápido al PC de las imágenes radiométricas JPEG de 14 bits y del de secuencias de vídeo infrarrojo no radiométrico.

Interfaces

Se pueden cargar comentarios de texto en la cámara a través del interface IrDa. Se puede conectar un auricular para introducir comentarios de voz.

Sistema de baterías inteligente

Las baterías de Li-Ion de la ThermaCAM P640 proporcionan al usuario una autonomía de 3 horas. La batería se puede cargar desde la propia cámara, desde un cargador de 2 unidades o en el coche de camino al trabajo.



Figura N° 5. Cámara Infrarroja Thermacam P640 – Marca Flir Systems



Figura N° 6. Accesorios de la Cámara Infrarroja Thermacam P640, Lentes, Baterías.

4.2 Software Thermacam Reporter

No basta con la toma de las imágenes térmicas sino que éstas deben ser acompañadas de un análisis de imágenes infrarrojas así como la comunicación de los resultados de inspecciones infrarrojas a quien compete, para nuestro caso los encargados del área de mantenimiento. Para facilitar y acelerar dichas tareas

cotidianas esenciales, se ha convenido utilizar el software Reporter, compatible con Microsoft Word.

Este software ha sido diseñado específicamente para su uso con las cámaras de FLIR Systems, ThermaCAM Reporter es una herramienta potente pero, sin embargo, fácil de utilizar que genera informes exhaustivos y profesionales sobre inspecciones infrarrojas.

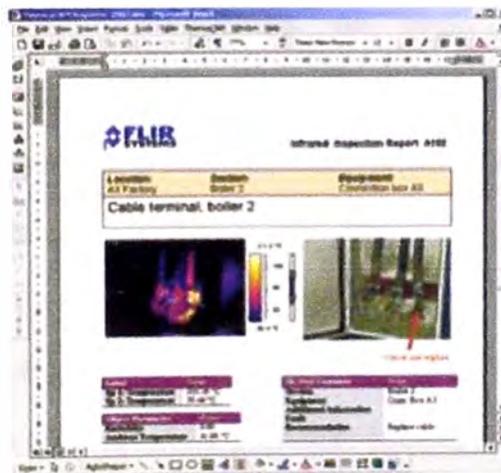


Figura N° 7. Con el software Thermacam Reporter se puede trabajar sobre la imagen térmica y se obtiene además una foto digital del equipo en análisis.

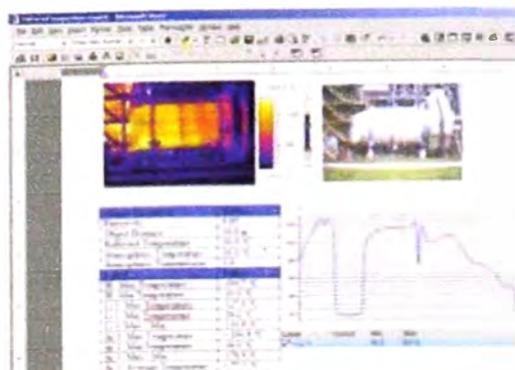


Figura N° 8. Con el software también se puede obtener la curva de temperatura.

4.2.1 Características Técnicas de Software Thermacam Reporter

ThermaCAM Reporter ha teniendo en cuenta que gran parte de la labor de análisis termográfica se realiza en el lugar de la inspección, es decir, donde todos los datos pertinentes están disponibles y donde es conveniente hacerse una idea preliminar cuando se sospecha que existe un defecto.

Todos los datos adquiridos en campo, las imágenes infrarrojas, las imágenes visibles, las medidas, los comentarios de texto y voz se incorporan automáticamente en el informe relativo a la inspección, lo cual permite ahorrar el tiempo dedicado al procesado posterior. Una vez finalizada la inspección en campo, el informe ya está elaborado.

Fácil de utilizar gracias a las funciones de asistencia (Wizard)

Las exclusivas funciones de asistencia permiten incluso a los usuarios ocasionales generar informes profesionales sobre inspecciones infrarrojas. Normalmente, tras utilizar la función de asistencia, sólo necesitará realizar algunos ajustes al informe.

Generación rápida de informes con Arrastrar y Soltar (Drag & Drop)

Con ThermaCAM Reporter, puede crear iconos en su escritorio basados en plantillas predefinidas de informe. Para generar rápidamente informes sobre inspecciones infrarrojas, arrastre y suelte simplemente las imágenes infrarrojas sobre el icono de su escritorio y deje que el administrador Rapid Report elabore automáticamente los informes.

Posibilidades óptimas de intercambio

Puesto que todas las imágenes se encuentran en el formato JPEG y todos sus informes en el formato Word, puede compartir todo ello fácilmente con sus compañeros de trabajo o sus clientes. Cualquiera puede abrir y leer sus ficheros. No será necesario poseer ThermaCAM Reporter o utilizar un software de visualización específico para abrir, visualizar e imprimir un informe.

Visualice secuencias de Video IR

Grabaciones en formato AVI, grabadas con las cámaras de las series ThermaCAM P ó S, pueden ser visionadas en el Reporter. Ideal para análisis de imágenes de objetos en movimiento.

Para completar su sistema termográfico profesional

Las exhaustivas funciones de información de ThermaCAM Reporter constituyen un suplemento substancial de las importantes posibilidades de adquisición de imágenes infrarrojas y medición de su cámara infrarroja. El software completa su sistema termográfico para el tratamiento de una extensa gama de tareas de mantenimiento preventivo, localización de averías y análisis.

4.3 Informe de Termovisión

4.3.1 Fuentes de las Variaciones Térmicas en el Sistema Eléctrico

La energía térmica generada desde un elemento eléctrico es directamente proporcional al cuadrado de la corriente que pasa a través de él multiplicado por la

resistencia. En esa condición el elemento deteriorado, su resistencia puede incrementarse y generar más calor. Entonces como la elevación de temperatura del elemento, el incremento de resistencia se fortalece. Este proceso propagación continúa hasta que alcanza el punto de fusión del elemento más débil. Utilizando termografía para inspeccionar instalaciones eléctricas y componentes bajo carga, los elementos defectuosos pueden ser identificados y clasificados por su importancia. Es interesante notar que, porque la pérdida de calor es proporcional a la corriente, las condiciones desequilibradas o de recarga pueden ser identificadas (Pérdida I^2R)

Cuando se ejecuta una inspección infrarroja de un sistema eléctrico es importante darse cuenta que toda la radiación dejada en la superficie no está constituida únicamente por la temperatura de la superficie. A menos que el conocimiento, la comprensión y prevención sean aplicados durante el análisis de la inspección, documentación e interpretación resultara en una falsa conclusión que un defecto exista o no exista.

Las variaciones térmicas del modelo son normalmente referidas en dos formas:

- 1) Diferencia de Temperatura Real. Estos son modelos térmicos causados solo por la energía infrarroja existente en la superficie del objeto
- 2) Diferencia de Temperatura Aparente. Ellos son modelos, los cuales se deben a otros factores fuera de las variaciones de la superficie objeto.

Las causas de variaciones de los modelos térmicos de elementos eléctricos son:

REAL

- 1) Incremento de Resistencia

- 2) Carga
- 3) Armónicos
- 4) Calentamiento Inducido
- 5) Transporte masivo - el viento
- 6) Capacitancia Térmica – Provecho solar
- 7) Cambios de estado - lluvia, nieve

APARENTE

- 8) Emitancia
- 9) Reflexión
- 10) Transmisión
- 11) Variaciones Geométricas

De estas variaciones el único que proporciona una identificación verdadera de fallas en el sistema eléctrico son los cuatro primeros:

- 1) Incremento de Resistencia
- 2) Carga
- 3) Armónicos
- 4) Calentamiento Inducido

El balance de las causas reales y aparentes de variaciones térmicas son muy importantes para entender la elaboración de cualquier inspección eléctrica infrarroja. La temperatura real del elemento puede o no puede alterarse. Las variaciones no son causadas por los componentes eléctricos por si mismos pero por fuerzas externas creando anomalías falsas o disfrazando problemas reales. Las verdaderas fallas son causados por:

1) Aumento de Resistencia

El recalentamiento de componentes puede tener varios orígenes. El ajuste suelto del contacto puede ocurrir al instalar una conexión o a través del desgaste del material, por ejemplo; disminución del ajuste, hilos usados o pernos muy apretados. Otra fuente podría ser conductores deteriorados de bobinados motores. Como el componente continúa deteriorado la temperatura continuará aumentando hasta alcanzar el punto de fusión del material y la falla ocurre por completo.

Este tipo de defecto generalmente puede ser identificado porque hay un "punto más caliente" en la imagen térmica. Lo que de esta forma es, el calor inicial generada es máximo en el punto de la falla con una disminución de la energía térmica fuera de la falla.

2) Carga

La carga crea calor resistivo igualmente. Desde el punto vista termográfico, la carga es usualmente vista como un tipo de problema diferente con sello térmico específico. Como la elevación de carga en un elemento eléctrico, así también la temperatura. Una carga pareja en cada fase de un sistema trifásico, por ejemplo, resultaría en una temperatura uniforme en todas las tres fases. Una anomalía es identificada cuando un componente en su conjunto y la temperatura del conductor es también alto o también bajo. Una condición desequilibrada no es identificada por las fases mostrando un desbalance, equivalente térmico y temperatura.

Los componentes desequilibrados o sobrecargados pueden ser generalmente identificados porque la temperatura permanece relativamente constante a lo largo

del conductor o componente tan grande como el tamaño del objeto y la masa sigue siendo el mismo.

3) Armónicos

Los armónicos son corrientes o voltajes que son múltiplos de la frecuencia 60 Hz básica entrante, sirviendo para un sistema de distribución de la industria. Posiblemente los armónicos más dañinos son los armónicos impares conocido como triplens. Los armónicos del triplen se suman a la frecuencia básica y pueden causar sobrevoltaje severo, sobrecorriente y el recalentamiento. La frecuencia no es la enemiga del sistema eléctrico. El enemigo real es el incremento de calor causado por la alta frecuencia del armónico.

Este armónico triplen puede crear recalentamiento drástico y hasta fundiendo el conductor neutral, conexiones, superficies de contacto y cintas receptáculos. Otros equipos afectados por armónicos son transformadores, generadores stand by, motores, equipos de telecomunicación, paneles eléctricos, interruptores y busbars.

4) Calentamiento Inducido

El calentamiento inducido es la creación del calor dentro de un material o superficie por la inducción de la corriente o campos por una fuente externa. Este fenómeno ocurriría en áreas de elevados campos electromagnéticos como en equipos de alto voltaje, transmisores de microondas, y equipos de alta inducción calorífica. Esta condición puede ser inducida en materiales ferrosos cuando un campo de electromagnético inducido eléctricamente está presente. El campo induce flujo de corriente que causa seguidamente calentamiento. Este fenómeno creará cambios verdaderos

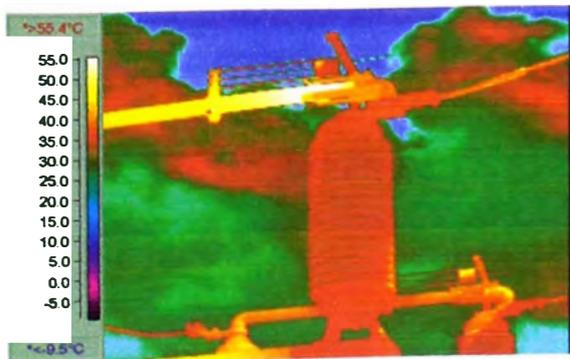
de temperatura en la superficie. Hallando frecuentemente (pero no restringido) pernos ferrosos en barra de conexión eléctrica de aluminio. Ésta es una condición dura para identificar y aparecerá como algo entre un componente defectuoso y un cambio de emisividad.

4.3.2 Imágenes Térmicas

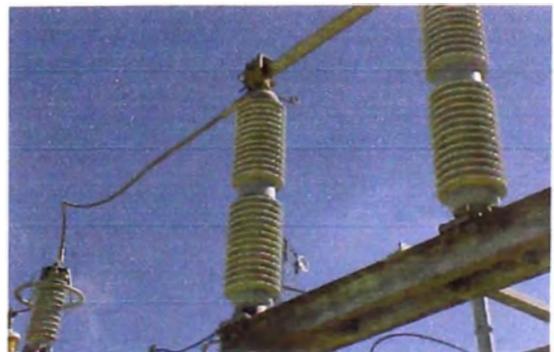
Podríamos tener una lista amplia de aplicaciones pero las englobamos en cuatro grandes categorías:

- **Generación de Energía:** Hidroeléctricas, Térmicas y Nucleares.
- **Distribución de Energía:** Transmisión, Subestaciones, Distribución, Patio de Maniobras.
- **Uso Industrial:** Todos los procesos y e industria manufacturera.
- **Uso Comercial:** Bloques de Edificios, bancos, escuelas, almacenes.

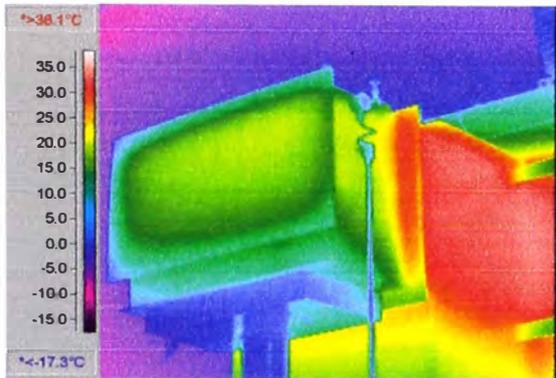
Imágenes Térmicas en Subestaciones



Localización	SUBESTACION
Equipo	AISLADOR
Falla	CONECTOR RECALENTADO



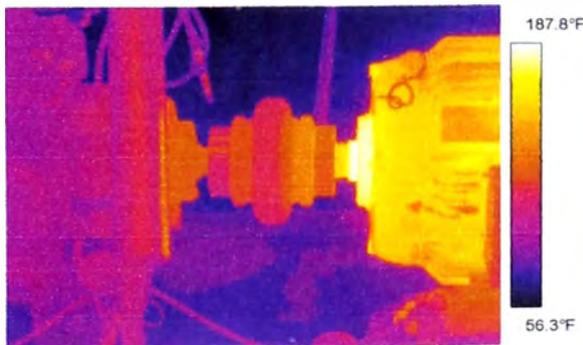
Emisividad	0.78
Distancia del Objeto	2.00 m.
Temp. Ambiente	17° C
Humedad Relativa	85%



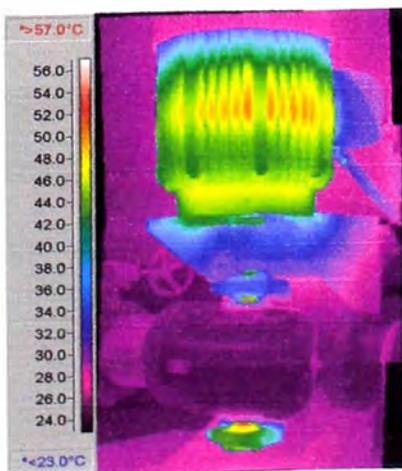
Localización	SUBESTACION
Equipo	TRANSFORMADOR
Falla	CAJA LOAD TAP CHANGER

Emisividad	0.78
Distancia del Objeto	2.00 m.
Temp. Ambiente	17° C
Humedad Relativa	85%

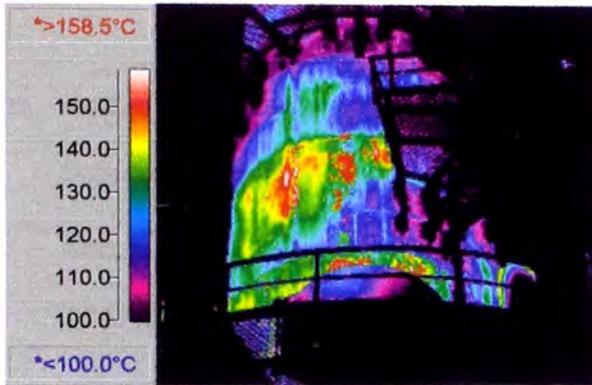
Imágenes Térmicas en Plantas Industriales



Motores Eléctricos Horizontales

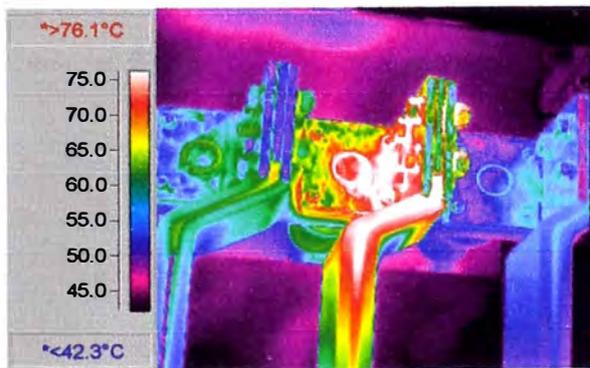


Motores Eléctricos Verticales

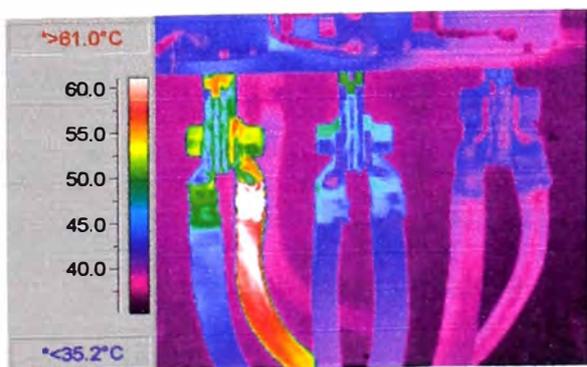


Horno de Refinería

Imágenes Térmicas en Tableros Eléctricos de Edificios



Conexión de Barras de Llegada en Tablero Eléctrico



Cables de Salida en Tablero Eléctrico

4.3.3 Elaboración del Informe de Termovisión

a. Reporte de las Inspecciones Térmicas

Para la elaboración del reporte de inspecciones térmicas es importante que el termógrafo se prepare anticipadamente con los accesorios e información adecuada de lo que se va a inspeccionar. A continuación se presenta algunas acciones a considerar previa inspección:

- Usar un lente adecuado de acuerdo con el tamaño del objeto y la distancia objeto/termovisor.
- Definición de la emisividad.
- Identificación clara de la falla.
- Encuadrar la falla con el equipo, buscando tener otra temperatura como referencia.
- Anotación de la carga.
- Fotografía del componente con defecto, tanto en imagen térmica como en foto normal.
- Equipos/instalaciones antiguas requieren mayor atención, como también instalaciones que presentan un historial de alta incidencia de fallas.
- Los cables pierden sus características de aislamiento a medida que la temperatura aumenta, aumentando el riesgo de incendio.
- La Temperatura elevada en un disyuntor puede fundir algunas partes del mismo, perjudicando su funcionamiento.
- Es prácticamente imposible que el inspector termográfico conozca todas las características de los equipos a ser inspeccionados, motivo por el cual siempre debe estar acompañado por el responsable del mantenimiento de la planta/fábrica o instalación eléctrica.

- Es importante conocer el comportamiento térmico de los componentes/equipos a ser inspeccionados.
- Fallas en equipos eléctricos pueden manifestarse como más calientes o más fríos en relación a un componente normal.
- Como regla general, podemos considerar que un punto caliente representa un probable defecto y la temperatura y la carga que corresponden a aquel componente específico ayudará a clasificar la falla.
- Precisamos conocer la temperatura máxima que los componentes pueden soportar sin perjudicar su funcionamiento.

b. Consideraciones para la Elaboración del Informe de Termovisión

Consideraciones de Carga

- Carga en el momento de la medición
- Carga constante o variable
- Localización del componente dentro del sistema
- Carga máxima estimada
- Medición directa o indirecta de la falla

Consideraciones Adicionales

- Lluvias
- Distancia objeto / termovisor
- Tamaño del objeto
- Temperatura ambiente
- Forma del objeto
- Emisividad

Valores recomendados por la IEC

ITEM	DESCRIPCION	TEMP. MAX. ADMISIBLE (°C)
1	<i>Componentes Industriales</i>	
1.1	Fierros encapados	70 a 110
1.2	Bornes	70
1.3	Cables aislados hasta 15kV	70
1.4	Conexiones mediante Portafusibles	90
1.5	Conexiones y Barras en BT	90
1.6	Conexiones de Líneas de Transmisión	70
1.7	Conexiones recubiertas de Ag o Ni	90
1.8	Fusibles	100
2	<i>Componentes de AT en SS.EE.</i>	
2.1	Seccionadores	50
2.2	Conexiones	60
2.3	Cables	60
2.4	Transformadores en Aceite – Conexiones	80
2.5	Transformadores en aceite - Cuerpo	65
2.6	Transformadores Secos – Punto más caliente	
	Clase de aislamiento 105	65
	Clase de aislamiento 130	90
	Clase de aislamiento 155	115
	Clase de aislamiento 180	140

Clasificación de fallas:

TEMPERATURA MEDIDA	DESCRIPCION	DEFINICION
1° C – 10° C (S/TA) 1° C – 3° C (S/TR)	Posible Falla	Requiere de mayor investigación.
11° C – 20° C (S/TA) 4° C – 15° C (S/TR)	Probable Falla	Repare en la próxima corte disponible.
21° C – 10° C (S/TA) > 15° C (S/TR)	Falla	Repare tan pronto como sea posible.
> 40° C (S/TA) > 15° C (S/TR)	Mayor Falla	Repare inmediatamente.

S/TA : Sobre la Temperatura Ambiente

S/TR : Sobre la Temperatura Referencial

c. Informe Final de Termovisión

El informe final de Termovisión debe contar como mínimo con las siguientes partes:

- Carátula
- Introducción
- Tabla de Clasificación o Criterios de Temperatura
- Imágenes Térmicas
- Resumen de Temperaturas
- Conclusiones y Recomendaciones

En el Anexo N° 2 se presenta un ejemplo de informe de termovisión utilizando el software Thermacam Reporter.

CAPITULO V

BENEFICIO ECONÓMICO

5.1 Retorno de la Inversión

El costo de implementar un programa de monitoreo infrarrojo variará con el tamaño de la industria, la complejidad del programa, y si el equipo infrarrojo será comprado o se tomará el servicio.

La mayoría de empresas eléctricas y de las industrias reconocen que las inspecciones eléctricas infrarrojas son un elemento clave para contar con la fiabilidad de funcionamiento de las instalaciones eléctricas. Pues una organización grande comprando el equipo y estableciendo un programa de monitoreo infrarrojo son económicamente justificables. En promedio, el retorno de la inversión es aproximadamente 3 meses.

Las instalaciones más pequeñas industriales y comerciales pueden establecer un programa infrarrojo de inspección usando una compañía infrarroja de servicio. El retorno de la inversión en esta situación es también excelente.

Por ejemplo, en una Clínica, en un día inspección infrarroja identificó problemas que pudieron haber costado \$ 12,800.00. Siendo el problema el recalentamiento de un interruptor que suministra energía al centro de procesamiento de datos de la clínica;

Otro interruptor suministrando energía a dos ascensores; y una conexión corroída en el interruptor del motor 50 HP.

Otro ejemplo, en una planta que confecciona plásticos donde una inspección infrarroja reveló numerosas conexiones imprecisas, sucias y corroídas a todo lo largo de la cablería principal del sistema eléctrico de distribución.

Otro ejemplo, el peor caso identificado, es en una planta, que pudo haber resultado en \$ 1'222,000 pérdida directa de daño, con una pérdida de producción de 25 % para 3 - 4 días, comparadas con varios centenares de dólares para las reparaciones menores, y períodos de inactividad por fallas de horas para limpiar, reemplazando y poner tirantes conexiones. Si esto es comparado con una tasa típica de una inspección de un día, entonces la paga hacia atrás es sustancial.

5.2 Beneficio de Inversión en una Planta Pesquera

La planta pesquera en referencia, durante su periodo de producción de Abril da Julio y de Octubre a Diciembre de cada año, procesa diariamente Harina de Pescado, Aceite en Crudo y Aceite Reciclado Secundario.

Su producción diaria es de 120TPH.

TPH: Toneladas por hora

Con un rendimiento o factor de harina de pescado de 4.25 (Valor obtenido experimentalmente, luego de realizar el peso respectivo)

Lo que tendremos:

$$\frac{120}{4.25} = 28 \text{ THH}$$

THH: Toneladas de Harina de Pescado por Hora

Convertido en minutos: $\frac{28}{60} = 0.46 \text{ THM}$

THM: Toneladas de Harina por minuto

Teniendo como dato importante que el costo de tonelada de Harina de Pescado es de US\$ 1 000,00

Y la producción de Aceite en crudo representa el 4% de la producción de Harina, con un costo de \$ 800.00, y el Aceite de Recuperación Secundaria es del 0.8% de Harina y un costo de \$ 600.00.

Lo que se tiene:

$$\text{Acrudo} = 4\% (120/60) = 0.08 \text{ TACM}$$

$$\text{Arecuperacion} = 0.8\%(120/60) = 0.016 \text{ TARM}$$

Donde:

TACM: Tonelada de Aceite en Crudo por Minuto

TARM: Tonelada de Aceite de Recupero Secundario por minuto

La empresa tiene una capacidad total de 3 500 KVA, con lo que hace funcionar todos sus equipos eléctricos, como son: Hornos rotativos, motores eléctricos

horizontales y verticales, bombas centrífugas, gusanos transportadores, entre los más importantes. Para los casos en que exista una parada de imprevisto, ponen a funcionar su grupo electrógeno, el mismo que toma un tiempo de 15 minutos para empezar su funcionamiento.

Por lo tanto, en el caso de que se tenga en plena producción una parada por el mal funcionamiento del sistema eléctrico se tendrá 15 min. Sin producción y eso repercutiría grandemente en los ingresos de la empresa. De los datos expuestos anteriormente tendríamos lo siguiente:

Pérdida por Producción de Harina de Pescado

$$0.46 \text{ THM} \times 15 \text{ MIN} = 6.9 \text{ TH}$$

$$6.9 \text{ TH} \times \text{US\$ } 1\,000 = \text{US\$ } 6\,900$$

Entonces, en 15 min. de parada de producción se tiene una pérdida de US\$ 6 900,00

Pérdida por Producción de Aceite en crudo

$$0.08 \text{ TACM} \times 15 \text{ MIN} \times \text{US\$ } 800 = \text{US\$ } 960$$

Pérdida por Producción de Aceite Reciclado Secundario

$$0.016 \text{ TARM} \times 15 \text{ MIN} \times \text{US\$ } 600 = \text{US\$ } 144$$

Lo que se tendría una pérdida total de US\$ 8 004,00

Esto solo es considerando lo que dejaría de vender la planta pesquera por producción, si se considera pérdidas de horas hombres, lucro cesante e indemnización por daños y perjuicios.

Esto lo comparamos con el alquiler del servicio de Inspección Termográfica incluida en su programa de mantenimiento integral, tendríamos que la inversión sería de aproximadamente US\$ 1 500,00, considerando un especialista en inspecciones termográficas durante 1 día, 1 día para coordinación con el área de mantenimiento de la empresa y datos de la empresa y; un día de Elaboración del informe de Termovisión.

Tratándose de una planta pesquera, donde exista alta polución y además cuenta con el tiempo suficiente, debido a los meses de veda, para realizar el mantenimiento correctivo respectivos de sus equipos, es recomendable que se implemente por lo menos de 1 vez al año el servicio de inspección infrarroja a todos sus equipos eléctricos, cabe mencionar, en las celdas de llegada de energía eléctrica, en los tableros de control, en los motores de las centrífugas, hornos rotativos, gusanos transportadores, en los molinos y demás equipos.

CONCLUSIONES

1. Los elevados costos por interrupciones en la producción de las plantas industriales justifican la inclusión de las inspecciones de termovisión en su programas de mantenimiento integral que se realizan en forma anual. Se debe considerar como mínimo 1 inspección anual de termovisión la cual garantizará el buen funcionamiento de la planta durante los meses de producción, para el caso de plantas pesqueras, y para otro tipo de plantas de producción constante.
2. Para el caso presentado, no justifica la adquisición de una cámara infrarroja, como sí pasaría en el caso de empresas concesionarias de energía eléctrica ya que las interrupciones les significa gastos del rango de cientos de dólares.
3. Para el caso de clínicas y hospitales, las interrupciones en la energía eléctrica pueden ser incluso fatales, ya que, quedarse en medio de una operación sin el suministro eléctrico puede implicar la pérdida de una vida. Es por ello, que este tipo de empresas, en su área de mantenimiento también debería implementar el servicio de termovisión para prevenir posibles interrupciones.

4. La cámara infrarroja y del software son una gran herramienta para poder encontrar posibles fallas sin necesidad de que el sistema o equipo en análisis tenga que dejar de funcionar, por tal razón, es que las inspecciones infrarrojas con estos equipos, significan una potente ayuda en el mantenimiento preventivo y predictivo de empresas concesionarias de electricidad y el parque industrial en general.
5. Es importante tener en cuenta los parámetros que se ingresan en la cámara infrarroja para la obtención de las imágenes térmicas porque de ellas dependerán en no obtener falsas fallas en el equipo o sistema analizado. Es por ello, que el presente trabajo se hace hincapié de la buena selección de la emisividad, la distancia a la que se encuentra el objeto, la carga a la que está expuesta y la temperatura ambiente.
6. En el momento de la inspección es importante obtener una buena imagen térmica, obtener todos los datos necesarios en campo, de ese modo, cuando se realice el trabajo en oficina del informe, las variaciones que se puedan realizar se hacen solo con el software y no se tiene que estar perdiendo tiempo en retornar nuevamente al sitio donde se encuentra el equipo.
7. Además es importante tomar nota de los datos de placa de los equipos, en el caso de que los tengas o en todo caso consultar con el responsable de mantenimiento o personal del área, para que informe del funcionamiento del equipo en análisis.

BIBLIOGRAFIA

- **Manual de Operación ThermaCAM PM695, P640**
FLIR Systems.
- **Papers de la 64ª Conferencia Internacional Anual de Clientes DOBLE Engineering Company, Massachussets USA. IMPROVING ELECTRICAL SYSTEM RELIABILITY WITH INFRARED THERMOGRAPHY.**
Ron Newport Academy of Infrared Thermography.
- **Just Try It!**
Robert J. Rogers, Instructor del Curso Infrarrojos de Infrared Training Center, FLIR Systems, North Billerica, MA.
- **Taller 1 de Termotecnia: Transmisión del Calor por Radiación**
Mario Derout, Pablo León.
- **Apply Emissivity Properly for Better IR Measurements**
Bernard R. Lyon, Jr. Inframetrics, N. Billerica, MA.
- **Tecnología para el Mantenimiento Predictivo**
Christopher Alicandro, Inframetrics.
- **Información Obtenida por la Red Virtual INTERNET.**

ANEXOS

**ANEXO N° 1. TABLA DE CARACTERISTICAS TÉCNICAS DE CÁMARA
INFRARROJA THERMACAM P640 = FLIR SYSTEMS**

PRESTACIONES DE IMAGEN	
Térmica:	
Campo de visión/distancia min. enfoque	24°x18° /0.3 m
Resolución espacial (IFOV)	0.65 mrad
Sensibilidad térmica	60Mk a 30°C
Frecuencia de imagen	30 Hz no entrelazado
Enfoque	Automático o manual
Zoom electrónico / Función panorámica	1 - 8 x, Continuo, incluye función panorámica
Tipo de detector	Matriz de plano focal (FPA), microbolómetro no refrigerado de 640 x 480 píxeles
Rango espectral	7.5 to 13µm
Imagen digital mejorada	Normal y mejorada
Visual:	
Video digital integrado	1.3 Mpíxeles, color/ iluminación integrada / lente intercambiable
Prestaciones de lentes	f=8 mm / FOV 32°
PRESENTACIÓN DE IMAGEN	
Salida de vídeo	RS170 EIA/NTSC o CCIR/PAL vídeo compuesto, IEEE-1394 FireWire, USB
Visor	Integrado, movable, visor en color de alta resolución (800 x 480 píxeles)
Monitor externo	LCD Integrado de 5.6"(1024 x 600 píxeles)
MEDIDA	
Rango de temperatura	-40°C a +500°C, en 2 rangos; + 2000°C, opcional

Precisión	$\pm 2^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\%$ de la lectura
Modos de medición	Punteros/Áreas (Circulares, rectangulares), Isotermas (superior, inferior, intervalo), Delta T
Controles de menú:	Paletas, caga de paletas diseñadas por el usuario, auto ajuste (manual/continuo/basado en ecualización de histograma), imagen en vivo y de referencia en pantalla (PoP), galería de imágenes, almacenamiento de secuencias, almacenamiento de programable
Función de alarma:	Alarma automática aplicable a cualquier función de medida seleccionada, alarma sonora/visual superior/inferior
Configuración de:	Día/hora, Temperatura $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$, lenguaje
Corrección de transmisión atmosférica:	Automática basada en los datos de distancia, temperatura atmosférica y humedad relativa
Corrección de transmisión óptica:	Automática, basada en la señal de sensores internos
Corrección de emisividad:	Variable de 0.01 a 1.0 seleccionable desde una lista de materiales predefinible
Corrección de Ta Ambiente Reflejada:	Automática, basada en la introducción de la temperatura reflejada
Óptica externa/corrección de la ventana	Automática, basada en la entrada de datos de transmisión y temperatura de la óptica/ventana
ALMACENAMIENTO DE IMAGEN	
Tipo	Tarjeta extraíble SD (256 MB)
	Memoria RAM integrada para almacenamiento a alta velocidad
Formato de archivo- Térmico	JPEG estándar, datos de medida en 14 bits
Formato de archivo- Visual	JPEG estándar, asociado automáticamente con la imagen térmica correspondiente / marcador visual
Comentario de voz	30 seg. de voz almacenado junto a la imagen. Auriculares incluidos ;
Comentario de texto	Texto predefinido almacenado junto a la imagen

ALMACENAMIENTO DE VIDEO	
Tipo	Grabación de video clips IR completamente radiométricos en la cámara y transferibles a tarjeta SD
	Grabación de video MPEG-4 no radiométrico en tarjeta SD
STREAMS DE VIDEO	
Tipo	MPEG-4, Link IP usando salida FireWire o USB
LENTES (OPCIONAL)	
Campo de visión/distancia	
mín. de enfoque	12° x 9° / 0.9m telelente
	45° x 34° / 0.1m gran angular
	Macro 50µm 32 mm x 24 mm / 75 mm
Identificación de lentes	Automática
PUNTERO LASER LOCATIR	
Clasificación	Clase 2
Tipo	Diodo Láser Semiconductor de AlGaInP: 1mW/635 nm rojo
SISTEMA DE BATERÍAS	
Tipo	Li-Ion, recargable
Duración	3 horas de funcionamiento continuo
Sistema de carga	En la cámara (adaptador AC ó 12 V en el coche) o cargador inteligente de 2 unidades
Alimentación Externa	Adaptador AC de 110/220 V AC, 50/60 Hz ó 12 V desde un coche (cable con conexión estándar: opcional)
Ahorro de energía	Apagado automático y modo suspender (seleccionable por el usuario)
ESPECIFICACIONES AMBIENTALES	
Rango de temperatura de trabajo	-15°C a +50°C

Rango de temperatura	
de almacenamiento	-40°C a +70°C
Humedad	Operación y almacenamiento de 10% a 95%, sin condensación
Carcasa	IP 54 IEC 529
Choque	Operacional: 25G, IEC 68-2-29
Vibración	Operacional: 2G, IEC 68-2-6
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Peso	1.7 kg batería incluida
Tamaño	120 mm x 145 mm x 220 mm
Rosca Trípode	1/4" – 20
INTERFACES	
FireWire	Salida IEEE-1394 FireWire(vídeo no radiométrico en tiempo real/ transferencia de archivos a PC)
USB	Transferencia a PC de Imagen (térmica y visual), medidas, voz y texto
IrDA	Comunicación Inalámbrica
Tarjeta SD (2)	Slot de E/S Y slot de almacenamiento

**ANEXO N' 2. EJEMPLO DE INFORME DE TERMOVISIÓN HACIENDO USO DEL
SOFTWARE THERMACAM REPORTER**

Inspección Termográfica

Sistema Eléctrico

INFORME N° 00107-01

Cliente:

Atención: Ing.

Remite:

Referencia: O/C

Fecha: 06 y 07 de Abril del 2001.

Revisado por:	Supervisión:	Elaborado por:	Operador:
Ing.	Ing.		

INTRODUCCION

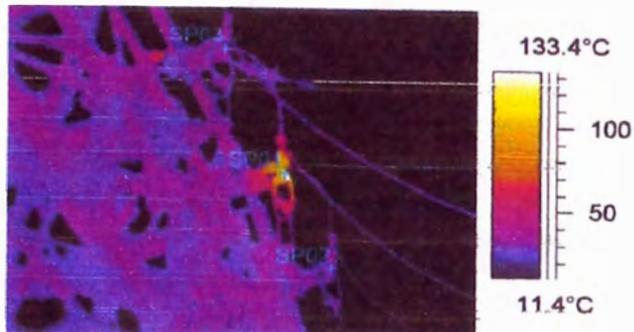
Para el presente informe se ha tomado como referencia la tabla de calificación para sistemas eléctricos en Sub-estaciones y también las especificaciones técnicas de cables y equipos, y de datos experimentales obtenidos en campo.

La inspección a realizar será en sus dos Sub-Estaciones N° 1 y 2, Tableros de distribución y motores.

Tabla de Clasificación

La clasificación de fallas está completa en el siguiente procedimiento:

Calificación	ΔT	Descripción
D	$\Delta T < 10^{\circ}\text{C}$	Monitoreo constante. Seguir con el programa de mantenimiento.
C	$\Delta T 10^{\circ}\text{C a } 20^{\circ}\text{C}$	Iniciación de una falla. El objeto debe ser inspeccionado nuevamente y reparado, si fuera necesario: en la próxima parada de mantenimiento.
B	$\Delta T 20^{\circ}\text{C a } 30^{\circ}\text{C}$	Sobrecalentamiento típico. El equipo debería estar bajo observación y reparado en la primera parada de mantenimiento.
A	$\Delta T > 30^{\circ}\text{C}$	Sobrecalentamiento peligroso. El objeto deberá ser reparado inmediatamente.

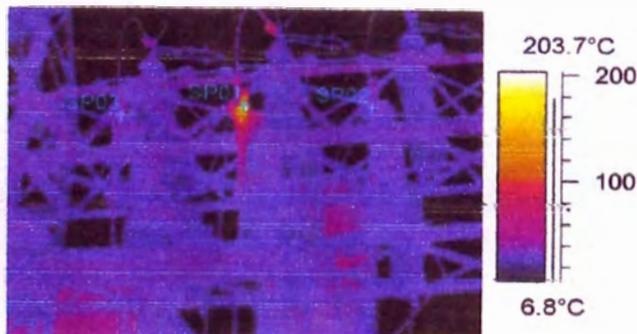


Seccionador de Barras, toma lateral, S.E. N°1

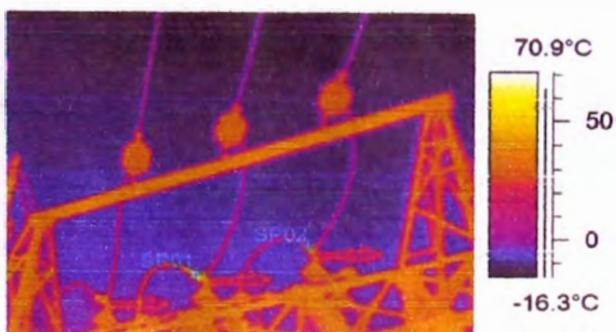
Descripción	T (°C)
SP01	140.7°C
SP02	25.9°C
SP03	28.5°C

Observación:

A, intervención inmediata, es necesario verificar las conexiones en el seccionador.



Seccionador de Barras, toma frontal, S.E. N° 1



SECCIONADOR DE ENLACE, S.E. N° 1

06/04/2001	09.44:55 a.m.
------------	---------------

Seccionador BT	T (°C)
SP01	70.6°C
SP02	33.0°C

Observaciones:

A. Sobrecalentamiento en conexión. Intervenir en próxima parada.



SECCIONADOR DE POTENCIA, S.E. N° 1

06/04/2001	09:46:37 a.m.
------------	---------------

Seccionador BT	T (°C)
SP01	27.7°C
SP02	25.9°C
SP03	28.5°C

Observaciones:

D. Temperatura de operación normal.

ANEXO N° 3. TABLA DE EMISIVIDAD

Paint: TiO ₂ , white	20 °C	68 °F		0.940
Paper: black	20 °C	68 °F		0.90
Paper: black, dull	20 °C	68 °F		0.94
Paper: black, shiny			8–14 μm	0.90
Paper: cardboard box			5 μm	0.81
Paper: green	20 °C	68 °F		0.85
Paper: red	20 °C	68 °F		0.76
Paper: tar			8–14 μm	0.92
Paper: white	17 °C	63 °F	2–5.6 μm	0.68
Paper: white			8–14 μm	0.90
Paper: white bond	20 °C	68 °F		0.93
Paper: yellow	20 °C	68 °F		0.72
Pipes: glazed	17 °C	63 °F	2–5.6 μm	0.83
Plaster	17 °C	63 °F	2–5.6 μm	0.86–0.90
Plaster: rough coat	20 °C	68 °F		0.91
Plasterboard: untreated	20 °C	68 °F	2–5.6 μm	0.90
Plastic paper: red	20 °C	68 °F	2–5.6 μm	0.94
Plastic paper: white	20 °C	68 °F	2–5.6 μm	0.84
Plastic: acrylic, clear	36 °C	97 °F	5 μm	0.94
Plastic: black			2–5.6 μm	0.95
Plastic: white			2–5.6 μm	0.84
Platinum: pure, polished			8–14 μm	0.08
Plexiglass: Perspex	17 °C	63 °F	2–5.6 μm	0.86
Plywood	17 °C	63 °F	2–5.6 μm	0.83–0.98
Plywood: commercial, smooth finish, dry	36 °C	97 °F	5 μm	0.82
Plywood: untreated	20 °C	68 °F	2–5.6 μm	0.83
Polypropylene	17 °C	63 °F	2–5.6 μm	0.97
Porcelain: glazed			8–14 μm	0.92
Quartz			8–14 μm	0.93
Redwood : wrought, untreated	20 °C	68 °F	2–5.6 μm	0.83
Redwood: unwrought, untreated	20 °C	68 °F	2–5.6 μm	0.84
Rendering: gray	20 °C	68 °F	2–5.6 μm	0.92
Rokide A	20 °C	68 °F		0.770

Rubber			8–14 μm	0.95
Rubber: stopper, black	35 °C	95 °F	5 μm	0.97
Sand	20 °C	68 °F		0.90
Shellac: black, dull	100 °C	212 °F		0.91
Shellac: black, shiny, on tin plate	20 °C	68 °F		0.82
Shingles: asphalt, sm, ceramic coated				
Silver: polished	100 °C	212 °F		0.03
Skin, human	32 °C	90 °F		0.98
Snow			8–14 μm	0.80
Soil: dry	20 °C	68 °F		0.92
Soil: frozen			6.5–20 μm	0.93
Soil: saturated with water	20 °C	68 °F		0.95
Stainless steel: type 18-8, buffed	20 °C	68 °F		0.16
Stainless steel: type 18-8, oxidized at 800	60 °C	140 °F		0.85
Stainless steel: type 18-8, sandblasted	20 °C	68 °F		0.440
Steel: galvanized			8–14 μm	0.28
Steel: oxidized	200 °C	392 °F		0.79
Steel: oxidized strongly			8–14 μm	0.88
Steel: polished	100 °C	212 °F		0.07
Steel: rolled freshly			8–14 μm	0.24
Steel: rough surface			8–14 μm	0.96
Steel: rusty, red			8–14 μm	0.69
Steel: sheet, nickel plated			8–14 μm	0.11
Steel: sheet, rolled			8–14 μm	0.56
Styrofoam: insulation	37 °C	99 °F	5 μm	0.60
Tape: electrical, insulating, black	35 °C	95 °F	5 μm	0.97
Tape: masking	36 °C	97 °F	5 μm	0.92
Thick coating	20 °C	68 °F		0.82
Tile: floor, asbestos	35 °C	95 °F	5 μm	0.94
Tile: glazed	17 °C	63 °F	2–5.6 μm	0.94
Tin: burnished			8–14 μm	0.05
Tin: commercial tin-plated sheet iron	100 °C	212 °F		0.07
Tungsten			8–14 μm	0.05

[missivity tables]

Varnish: flat	20 °C	68 °F	2–5.6 µm	0.93
Wallpaper: slight pattern, light gray	20 °C	68 °F	2–5.6 µm	0.85
Wallpaper: slight pattern, red	20 °C	68 °F	2–5.6 µm	0.90
Water:			8–14 µm	0.98
Water: distilled	20 °C	68 °F		0.96
Water: frost crystals	-10 °C	14 °F		0.98
Water: ice, smooth	-10 °C	14 °F		0.96
Water: snow	-10 °C	14 °F		0.85
Wood: oak, planed	20 °C	68 °F		0.90
Wood: paneling, light finish	36 °C	97 °F	5 µm	0.87
Wood: planed			8–14 µm	0.85
Wood: spruce, polished, dray	36 °C	97 °F	5 µm	0.86
Zinc: sheet			8–14 µm	0.20