



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABI**

**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del título de

**INGENIERO ELECTRICO**

**TEMA**

**“APLICACIÓN DE LAS CAMARAS TERMOGRAFICAS  
PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y  
CORRECTIVO DE LAS MAQUINAS E INSTALACIONES  
ELECTRICAS”**

**AUTORES DE TESIS**

**Paolo David Bailón Mieles  
Freddy Geovanny Franco García  
Rodrigo Eduardo López Pallo**

**Director de Tesis  
Ing. Carlos Delgado Tóala**

**2009**

**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABI**  
***ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA***

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del título de  
**INGENIERO ELECTRICO**

**TEMA**

**“APLICACIÓN DE LAS CAMARAS TERMOGRAFICAS  
PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y  
CORRECTIVO DE LAS MAQUINAS E INSTALACIONES  
ELECTRICAS”**

**AUTORES**

**Paolo David Bailón Mieles  
Freddy Geovanny Franco García  
Rodrigo Eduardo López Pallo**

**DIRECTOR DE TESIS**

**Ing. Carlos Delgado Tóala**

---

**Manta - Manabí - Ecuador**

**2008 - 2009**

## **CERTIFICACION**

**En calidad de Director de Tesis: “APLICACIÓN DE LAS CAMARAS TERMOGRAFICAS PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CORRECTIVO DE LAS MAQUINAS E INSTALACIONES ELECTRICAS”, de los estudiantes de Ingeniería Eléctrica, señores:**

**Paolo David Bailón Mieles  
Freddy Geovanny Franco García  
Rodrigo Eduardo López Pallo**

**Certifico haber tutorado el proyecto de investigación durante su desarrollo tanto teórico como practico conforme a los lineamientos de la metodología de la investigación científica y de campo.**

**El proyecto realizado, los resultados y conclusiones son responsabilidad de los autores.**

**Particular que comunico a Ud. para los fines pertinentes.**

.....

**Ing. Carlos Delgado Tóala  
Director de Tesis.**

## **DECLARACION DE AUTORIA**

La responsabilidad total sobre los hechos, ideas y conclusiones expuestos en la presente tesis, corresponden en forma exclusiva a los autores, la propiedad intelectual de la tesis de grado corresponderá por derecho a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica.

### **LOS AUTORES.**

---

**PAOLO BAILON MIELES**

---

**FREDDY FRANCO GARCIA**

---

**RODRIGO LOPEZ PALLO**

**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI**  
**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**

**Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe y proyecto de la investigación sobre “APLICACIÓN DE LAS CAMARAS TERMOGRAFICAS PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CORRECTIVO DE LAS MAQUINAS E INSTALACIONES ELECTRICAS”. A los estudiantes Sr. David Ibarra, Sr. José Delgado, luego de haber sido analizado por los señores miembros del tribunal de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, y en cumplimiento de lo que establece la ley, se da por aprobada.**

**Manta, Noviembre del 2009**

**Para constancia firman:**

.....  
**Miembro del tribunal**

.....  
**Miembro del tribunal**

.....  
**Director de tesis**

## DEDICATORIA

"唯一の技術価値がマスタリングは、同じ1つの発明です。"

Al llegar a cierta etapa de su vida uno se da cuenta de que solo nunca se pueden realizar las cosas, siempre es importante contar con el apoyo de una persona, que de manera desinteresada te brinde su mano amiga para que puedas salir adelante en los diversos obstáculos que se encuentren en este largo camino de la vida.

Para mi padre que siempre ha sido un constante apoyo durante toda mi vida, le quedo eternamente agradecido, no me alcanzaría ni esta ni la otra vida para pagarle todo lo que ha hecho por mí.

A mi madre, que aunque partió cuando aún era pequeño, le agradezco todas las enseñanzas que me transmitió ya que estas fueron suficientes para llevarme a puerto seguro.

A mis hermanas y hermanos que nunca me han fallado, que en los momentos más difíciles siempre han estado a mi lado, dándome sus consejos y constante apoyo en especial a リリアナ.

Para mis compañeros de clase que siempre pasamos buenos momentos como ratos amargos por uno que otro profesor que solo era "échele échele", "pásele pásele" y otras cosas más que no voy a decir.

A mi dos grandes amigas queridas ジェネス y la スキニー que desde el día que la conocí mi vida fue totalmente distinta, es decir mejor de lo que

ya era posible y no crea que me olvide mi 同名の que también le tengo un cariño especial.

すべてに感謝

PAOLO DAVID BAILON MIELES

## **DEDICATORIA**

Es muy importante para la vida de todas las personas estudiar para hacerle frente al futuro, o para tener una profesión, todo esfuerzo rinde su fruto y este trabajo refleja el premio al deseo de superación.

Agradezco a Dios por haberme guiado en estos años de estudio, dándome la fortaleza y sabiduría.

Agradezco a mis padres Sr. Víctor Wigberto Franco Anchundia, Sra. Rosa Ernestina García Sánchez, por su apoyo y motivación en todo momento.

A mis hermanos, Jorge, Azucena, Marjorie y Roger Franco García, ya que siempre puedo contar con sus ayudas.

De igual manera agradezco a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, porque me acogió en sus regazos durante este tiempo de formación profesional.

A cada uno de los señores catedráticos por su sacrificio y dedicación.

Freddy Geovanny Franco García.



## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto y toda mi carrera universitaria a Dios quien me dio la fe, la fortaleza necesaria para salir siempre adelante pese a las dificultades, por colocarme en el mejor camino, iluminando cada paso de mi vida, por darme la salud y la esperanza.

Con mucho cariño principalmente a mis padres, Asterio López R. y Margarita Pallo T., que me dieron la vida y siempre me han dado su apoyo incondicional y a quienes debo este triunfo profesional, por todo su trabajo y dedicación para darme una formación académica pero sobre todo humanista y espiritual. Gracias por todo papá y mamá por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén conmigo. De ellos es este triunfo y para ellos es todo mi agradecimiento.

A mis hermanos, Juliana, Miguel y Luis, por compartir las alegrías, las penas y por siempre tener palabras de aliento. A Sadia por estar siempre conmigo y darme todo su apoyo incondicional.

A todos mis amigos, amigas y todas aquellas personas que han sido importantes para mí durante todo este tiempo. A todos mis maestros que aportaron a mi formación. Para quienes me enseñaron más que el saber científico, a quienes me enseñaron a ser lo que no se aprende en salón de clase y a compartir el conocimiento con los demás.

**EDUARDO LOPEZ P.**

# **UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI**

**Manta - Manabí – Ecuador**

**2008 - 2009**

**TEMA:**

## **“APLICACIÓN DE LAS CAMARAS TERMOGRAFICAS PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y CORRECTIVO DE LAS MAQUINAS E INSTALACIONES ELECTRICAS”**

### **Resumen:**

Las cámaras termográficas son una herramienta indispensable en el mantenimiento predictivo y preventivo, al detectar anomalías invisibles al ojo humano, con el objetivo de prevenir errores y fallos que puedan suponer grandes pérdidas económicas.

Las cámaras infrarrojas se han convertido en sistemas similares a las cámaras de vídeo, son sencillos de usar y producen imágenes de muy alta resolución en tiempo real. En todo el mundo son muchas las industrias que han descubierto en la termografía infrarroja las ventajas que puede traerles en sus programas de mantenimiento preventivo.

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>A. PAGINAS PRELIMINARES</b>	<b>Pág.</b>
PORTADA	I
CERTIFICACION	III
DECLARACION DE AUTORIA	IV
APROBACION POR EL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIAS	VI
RESUMEN	X
INDICE GENERAL DE CONTENIDOS	XI
<b>B. TEXTO</b>	<b>Pág.</b>
TEMA	XVI
OBJETIVOS	XVII
OBJETIVO GENERAL	XVII
OBJETIVOS ESPECIFICOS	XVII
JUSTIFICACION	XIX

## MARCO TEORICO

### CAPITULO I

<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1 TERMOGRAFÍA INFRARROJA	1
1.2 FUNDAMENTOS DE LA TERMOGRAFIA POR INFRARROJOS	1
1.3 DESCUBRIMIENTO DE LOS RAYOS INFRARROJOS	2
1.4 TERMOGRAFIA Y SUS APLICACIONES	4

### CAPITULO II

<b>TERMINOS RELACIONADOS CON TERMOGRAFIA</b>	<b>9</b>
2.1 ENERGÍA INFRARROJA	9
2.2 ESPECTRO ELECTROMAGNETICO	9
2.2.1 BANDAS DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	10
2.3 INFRARROJO	11
2.4 ULTRAVIOLETA	11
2.5 RAYOS X	12

2.6 RAYOS GAMMA	12
2.7 RADIACIÓN INFRARROJA	13
2.7.1 CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN INFRARROJA	14
2.8 USO DE LOS RAYOS INFRARROJOS	14
2.9 EMISORES DE INFRARROJOS INDUSTRIALES	15
2.10 INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN TÉRMICA CON LOS CUERPOS	16
2.11 ANOMALÍA TÉRMICA	17
2.12 EMISIVIDAD	17
2.12.1 COEFICIENTE DE EMISIVIDAD	18
2.13 CUERPO GRIS	18
2.14 TRANSFERENCIA DE CALOR	19
2.14.1 CONDUCCIÓN	20
2.14.2 CONVECCIÓN	21
2.14.3 RADIACIÓN	21
2.15 CUERPO NEGRO	22
2.16 ¿QUÉ ES EL CALOR Y CÓMO SE PRODUCE?	23
2.17 ¿QUÉ ES LA TEMPERATURA?	24
2.18 ¿EN QUÉ SE DIFERENCIAN CALOR Y TEMPERATURA?	25

### **CAPITULO III**

<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y LA TECNOLOGIA INFRARROJA</b>	<b>26</b>
3.1 FUNDAMENTOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A TRAVÉS DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA	26
3.2 FUNDAMENTOS FÍSICOS	27
3.3 ESPECTRO INFRARROJO	28
3.4 DETERMINACIÓN DE LA EMISIVIDAD	28
3.5 MANTENIMIENTO DE EQUIPOS ELECTRICOS	29
3.6 MANTENIMIENTO DE EQUIPOS MECANICOS	29
3.7 CUÁNDO Y CADA CUÁNTO SE DEBE MEDIR	30
3.8 PLANIFICACIÓN DE UNA INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA	31
3.9 LA TERMOGRAFÍA COMO HERRAMIENTA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	31
3.10 APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO	32
3.11 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON TERMOGRAFÍA	32
3.12 ESTRUCTURA DEL REPORTE	33
3.13 LOS ESCÁNERES IR PERIÓDICOS MANTIENEN LAS LUCES ENCENDIDAS	34

## **CAPITULO IV**

<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y LA TECNOLOGIA INFRARROJA</b>	<b>35</b>
4.1 DEFINICION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO	35
4.2 HISTORIA	36
4.3 CARACTERISTICAS	36
4.4 VENTAJAS	37
4.5 DESVENTAJAS	37
4.6 TERMOGRAFÍA DE INFRARROJOS PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO	38
4.7 LA TERMOGRAFÍA EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL PREVENTIVO	38

## **CAPITULO V**

<b>MANTENIMIENTO CORRECTIVO</b>	<b>40</b>
5.1 ¿QUÉ ES MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y CÓMO LO REALIZA?	40
5.2 CLASIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO	41
5.2.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO NO PLANIFICADO	41
5.2.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO PLANIFICADO	43
5.3 TERMOGRAFÍA Y MANTENIMIENTO ELÉCTRICO	44
5.4 TERMOGRAFÍA Y MANTENIMIENTO MECÁNICO	45
5.5 APLICACIÓN DE LAS CÁMARAS TERMOGRÁFICAS DESPUÉS DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO	45
5.6 FACILIDAD QUE BRINDA UNA CÁMARA TERMOGRÁFICA EN EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO	46
5.7 ANÁLISIS POR ÁRBOL DE FALLAS	47
5.8 CONCLUSIÓN	48

## **CAPITULO VI**

<b>PARAMETROS A CONSIDERAR PARA LA INTERPRETACION DE IMÁGENES TERMOGRAFICAS</b>	<b>49</b>
6.1 COMO OBTENEMOS LA IMAGEN	49
6.1.1 CÁMARAS RADIOMÉTRICAS	49
6.2 CUALIDADES DE UNA BUENA IMAGEN IR	50
6.2.1 ENFOQUE LA IMAGEN	51
6.2.2 NIVEL TÉRMICO DE LA PALETA DE COLORES	51
6.2.3 RANGO DE LA PALETA DE COLORES	52
6.2.4 RANGO TÉRMICO	52
6.2.5 PERSPECTIVA	52

6.2.6 COMPOSICIÓN	53
6.2.7 PALETA	53
6.3 CONFIGURACIONES DE LA CÁMARA	54
6.3.1 EMISIVIDAD	54
6.3.2 TEMPERATURA APARENTE REFLEJADA	54
6.3.3 REFLECTIVIDAD	55
6.4 CAPTURA DE IMÁGENES	55
6.4.1 FACTORES QUE PUEDEN INFLUIR EN LA PRECISIÓN DE LAS MEDIDAS	56
6.4.1.1 CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA	56
6.4.1.2 RELACIÓN DISTANCIA-TAMAÑO DEL OBJETO	57

## **CAPITULO VII**

<b>TERMOGRAFÍA EN SISTEMAS ELECTRICOS Y ELECTROMECHANICOS</b>	<b>58</b>
7.1 INTRODUCCIÓN	58
7.2 APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA	58
7.3 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	63
7.3.1 LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	63
7.3.2 ASPECTOS A TENER EN CUENTA	64
7.3.3 ASPECTOS LIGADOS A LA PROPIA INSTALACIÓN	65
7.4 SUBESTACIONES	66
7.4.1 ELEMENTOS A INSPECCIONAR	67
7.5 CENTROS DE TRANSFORMACIÓN	69
7.5.1 ELEMENTOS A INSPECCIONAR	70
7.5.2 ASPECTOS A TENER EN CUENTA	72
7.6 EL PROBLEMA DE LA IDENTIFICACIÓN DE OBJETOS EN LA TERMOGRAFÍA	74
7.6.1 CONCLUSIONES	75
7.7 INSPECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS	75
7.8 INSPECCIÓN DE RODAMIENTOS	80

## **CAPITULO VIII**

<b>SOFTWARE SMARTVIEW</b>	<b>84</b>
8.1 INTRODUCCION	84
8.2 DESCARGA Y TRANSFERENCIA DE IMÁGENES A SU PC	84
8.3 VER Y EDITAR	85
8.4 MARCADORES	86
8.5 IMAGEN EN IMAGEN, FUSIONAR, ALARMA	87
8.6 GRAFICA Y VISIBLE	88
8.7 ANOTACIONES	89
8.8 IMÁGENES DE REFERENCIA	89

8.9 FICHAS DE COMENTERIOS Y PARA GUARDAR CAMBIOS	90
8.10 INFORME SMARTVIEW	91
8.10.1 INFORME RÁPIDO	91
8.10.2 ASISTENTE DE INFORMES	93
8.11 PLANTILLAS DE INFORMES	94
8.12 PREFERENCIAS DE CONFIGURACION	96

## **CAPITULO IX**

<b>MODELO DEL FORMATO DE INSPECCIONES</b>	<b>97</b>
9.1 ¿CÓMO EMPIEZA UNO?	97
9.2 AVERIAS MÁS COMUNES EN MOTORES	104
9.2.1 CIRCUITO DE POTENCIA	107

## **CAPITULO X**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>109</b>
10.1 CONCLUSIONES	109
10.2 RECOMENDACIONES	110
<b>MATERIAL DE REFERENCIA</b>	
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

## **TEMA**

**“APLICACIÓN DE LAS CAMARAS TERMOGRAFICAS  
PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y  
CORRECTIVO DE LAS MAQUINAS E  
INSTALACIONES ELECTRICAS”**



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Describir los aspectos teóricos y prácticos fundamentales relacionados con la tecnología infrarroja. Mostrar el manejo de la cámara termográfica y sus principales ajustes tanto a nivel hardware como software. Describir las diferentes y múltiples aplicaciones de la termografía.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Describir los aspectos físicos y prácticos fundamentales relacionados con la tecnología infrarroja.
- Mostrar el manejo de la cámara termográfica y sus principales ajustes tanto a nivel de hardware como de software.
- Descubrir las diferentes y múltiples aplicaciones de la termografía.
- Verificar si se disminuyen los costos de mantenimiento con la termografía.
- Optimización de los recursos humanos.
- Evitar paros imprevistos en las industrias.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.

- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
  
- Reducir el costo de mantenimiento por conexiones defectuosas.
  
- Prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones eléctricas.
  
- Aprender a interpretar las anomalías a través de las imágenes que nos proporciona una cámara termográfica.

## **JUSTIFICACION**

La termografía infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión. La física permite convertir las mediciones de la radiación infrarroja en medición de temperatura, esto se logra midiendo la radiación en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas. La termografía puede ser aplicada en cualquier situación donde un problema o condición pueda ser visualizado por medio de una diferencia de temperatura.

Una termografía puede tener aplicación en cualquier área siempre y cuando esta tenga que ver con variación de temperatura. Detecta problemas rápidamente sin interrumpir el funcionamiento del equipo. Minimiza el mantenimiento preventivo y el tiempo en localizar problemas.

La termografía es una rama de la teledetección que se ocupa de la medición de la temperatura radiada por los fenómenos de la superficie de la tierra desde una cierta distancia. Una termografía infrarroja es la técnica de producir una imagen visible de luz infrarroja invisible (para nuestros ojos) emitida por objetos de acuerdo a su condición térmica.

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 TERMOGRAFÍA INFRARROJA**

La Termografía es la rama de la Teledetección que se ocupa de la medición de la temperatura radiada por los fenómenos de la superficie de la Tierra desde una cierta distancia. Una Termografía Infrarroja es la técnica de producir una imagen visible de luz infrarroja invisible (para nuestros ojos) emitida por objetos de acuerdo a su condición térmica. Una cámara Termográfica produce una imagen en vivo (Visualizada como fotografía de la temperatura de la radiación).

Las cámaras miden la temperatura de cualquier objeto o superficie de la imagen y producen una imagen con colores que interpretan el diseño térmico con facilidad. Una imagen producida por una cámara infrarroja es llamada: Termografía o Termograma.

### **1.2 FUNDAMENTOS DE LA TERMOGRAFÍA POR INFRARROJOS**

La Termografía Infrarroja, es la técnica que permite medir y visualizar temperaturas de cuerpos, que tengan temperaturas superiores al Cero Absoluto ( $-273^{\circ}\text{C}$ ), sin la necesidad de hacer contacto, y lo mejor, con una gran precisión (hasta de  $0,03^{\circ}\text{C}$ ). Esto genera una imagen “Térmica”, que se asimila en gran medida a los detalles que podemos ver en

imágenes “Visuales”, pero donde nos muestra, que cada diferencia de colores, corresponde a una variación en la temperatura de los elementos que se encuentran frente a nuestro campo visual.

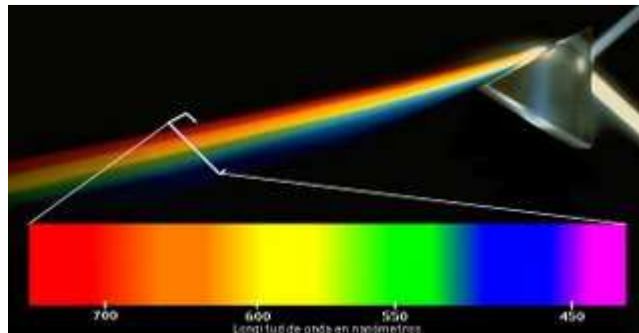
Gracias a la Física, podemos convertir la energía de las ondas Infrarrojas, en valores de temperatura; esto se logra, cuantificando por medio de un Detector Infrarrojo, la energía radiada por la superficie del objeto, luego se emplean algoritmos Matemáticos que convierten esta información, en sus correspondencias en grados Celsius y/o Fahrenheit, y finalmente, se les asigna un color, para que obtengamos una “Visualización” de la temperatura de los cuerpos.

Debido a que tenemos variaciones de temperatura en todo nuestro entorno, sumado a que los ojos humanos no son sensibles al Infrarrojo emitido por todos los objetos, empleamos las Cámaras Infrarrojas (Termográficas), ya que son capaces de medir la energía por medio de Detectores Microbolómetro FPA, capacitados para "ver" longitudes de onda larga del Infrarrojo; esto nos permite medir la energía radiante emitida por objetos, y por consiguiente, determinar en tiempo real (60 imágenes por segundo), la temperatura de la superficie sin necesidad de entrar en contacto.

### **1.3 DESCUBRIMIENTO DE LOS RAYOS INFRARROJOS**

El descubridor de los rayos infrarrojos fue Sir Frederick William Herschel nacido en Hannover, Alemania 1738.

Fue muy conocido tanto como músico y como astrónomo. En el año 1757 emigró hacia Inglaterra donde con su hermana Carolina construyeron un Telescopio. Su más famoso descubrimiento fue el del planeta Urano en el año 1781. En el año de 1800, Sir William Herschel hizo otro descubrimiento muy importante.



Se interesó en verificar cuanto calor pasaba por filtros, de diferentes colores al ser observados al sol.

Se dio cuenta que esos filtros de diferentes colores dejaban pasar diferente nivel de calor. Continuando con ese experimento, Herschel hizo pasar luz del sol por un prisma de vidrio y con esto se formó un espectro (el "arco iris" que se forma cuando se divide a la luz en sus colores).

Haciendo controles de temperatura en los distintos colores de ese espectro verificó que más allá de rojo fuera de las radiaciones visibles la temperatura era más elevada. Encontró que esta radiación invisible por encima del rojo se comporta de la misma manera desde el punto de vista de la reflexión, refracción, absorción y transmisión que la luz visible. Era la primera vez que alguien demostraba que había otra forma de

iluminación o radiación que era invisible al ojo humano. Esta radiación inicialmente la denominó Rayos caloríficos y luego Infrarrojos (infra: quiere decir abajo) Es decir, por debajo del nivel de energía del rojo.

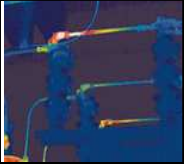

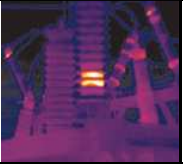

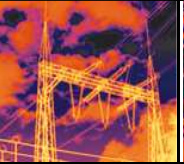
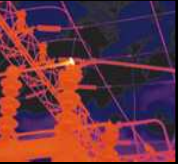
Ampliando términos, transferencia de calor es energía en tránsito debido a diferencias de temperatura. El calor es una cosa intangible. Nosotros no podemos medir en forma directa el calor. Solamente podemos medir los efectos del calor, a saber: cambios de la temperatura.





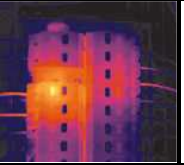

La transferencia de calor puede ser por conducción, convección, radiación o por sus combinaciones. La velocidad (la diferencia genera contraste) de calentamiento o enfriamiento depende de las propiedades térmicas, estado físico, tamaño y naturaleza del producto, así como el mecanismo de transferencia. La termografía infrarroja logra obtener, a partir de esa energía radiada en el rango infrarrojo (0,7 a 15 micras), la temperatura del cuerpo emisor.


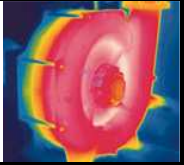
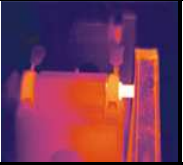



## **1.4 TERMOGRAFÍA Y SUS APLICACIONES**

La Termografía infrarroja es una técnica que permite ver la temperatura de una superficie con precisión, sin tener ningún contacto con ella. Gracias a la Física podemos convertir las mediciones de la radiación infrarroja en mediciones de temperatura, esto es posible midiendo la radiación emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas.

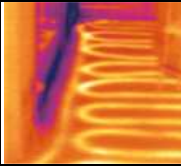




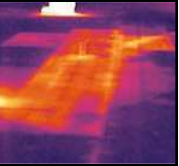
Algunas de las aplicaciones de la termografía infrarroja más importantes son:

<b>ALTA TENSIÓN</b>					
					
Oxidación de los conmutadores de alta tensión	Conexiones mal fijadas	Defectos en aislantes	Conexiones sobrecalentadas	Inspección en líneas de alta tensión	Conexiones de alta tensión defectuosas

<b>BAJA TENSIÓN</b>					
					
Conexión de alta resistencia	Daños en fusibles internos	Mala conexión y daños internos	Corrosión en conexiones	Fallos en ruptores internos	Conexiones de cables sueltas

<b>MECÁNICAS</b>					
					
Sobrecalentamiento de motores	Bombas sobrecargadas	Cojinetes calientes	Rodillos sospechosos	Eje de motor sobrecalentado	Motores eléctricos



<b>EDIFICIOS</b>					
					
Calefacción bajo el piso	Puntos calientes por malos aislantes	Humedades en muros	Ventanas de panel sencillo entre ventanas con paneles dobles	Inspección de bastidores	Goteras en tejados

Otra de las aplicaciones de la termografía infrarroja son las energías renovables, algunos ejemplos:

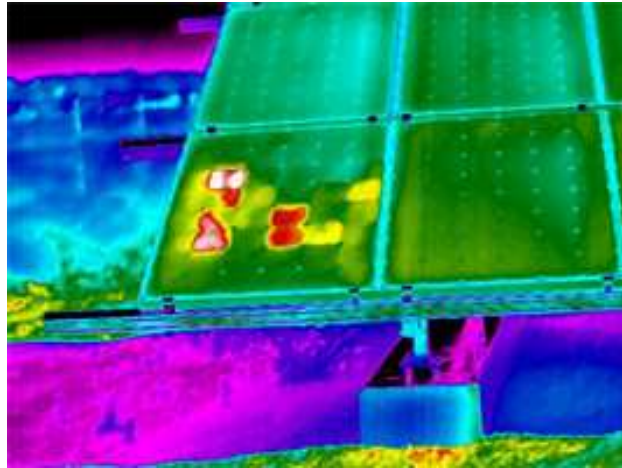
### ***Energía eólica***

- Comprobación de huecos y fallos de pegado en la estructura de la concha de la pala.
- Revisión de las palas en los parque eólicos comprobando que no hayan sufrido daños bajo condiciones climáticas adversas.
- Vigilancia de Almacenamiento de Material.

### ***Energía solar***

- Controlar del proceso de fabricación antes y después de la laminación de las células fotovoltaicas.

- Comprobar el intercambio de líquidos en las células térmicas.
- Mantenimiento de los huertos solares, verificando que no tienen ninguna célula muerta que disminuya el rendimiento del mismo.



El gran avance de la tecnología por infrarrojos junto con una reducción de los costes de una forma significativa ha popularizado su utilización en una gran variedad de sectores de alta seguridad, saltando del uso militar tradicional a un uso civil diverso. Entidades públicas y privadas van incorporando la termografía como complemento y alternativa a técnicas tradicionales para reforzar los estándares de seguridad. Algunas de estas aplicaciones son:

- *Fuerzas de seguridad.*
- *Vigilancia de costas y fronteras.*
- *Lucha contra incendios.*
- *Entornos de baja visibilidad.*
- *Diagnóstico médico.*
- *En la industria de la construcción.*
  - Localización de fugas.
  - Detección de defectos de construcción mediante termografía infrarroja.
  - Inspección de los procedimientos de secado.
  - Visualización de pérdidas energéticas.
  - Restauración de edificios.

## **CAPITULO II**

### **TERMINOS RELACIONADOS CON TERMOGRAFIA**

#### **2.1 ENERGÍA INFRARROJA**

La energía infrarroja es una parte del espectro electromagnético de comportamiento similar a la luz visible. Este tipo de energía viaja a través del espacio a la velocidad de la luz y puede ser reflejada, refractada, absorbida, y emitida. La longitud de onda, de la energía infrarroja está entre 0.7 y 1000  $\mu\text{m}$  (micrómetros). Otras formas comunes de la radiación electromagnética son los rayos ultravioletas o los rayos X.

#### **2.2 ESPECTRO ELECTROMAGNETICO**

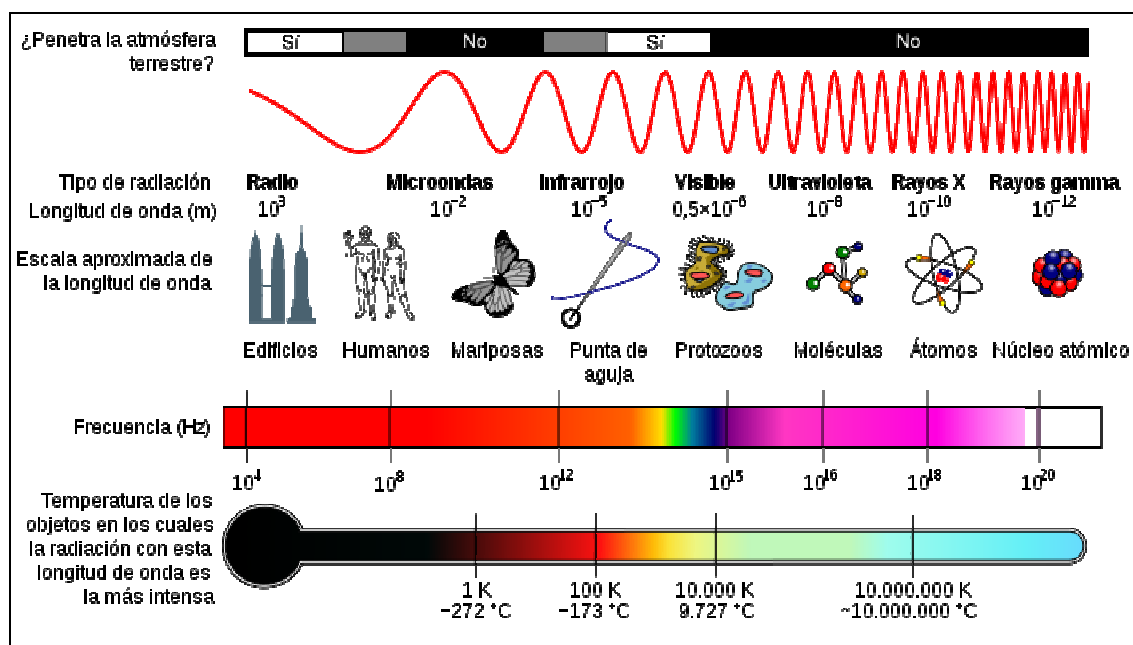
Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Referido a un objeto se denomina espectro electromagnético o simplemente espectro a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a una huella dactilar. Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre éste, como la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación.

El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la

luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. Se cree que el límite para la longitud de onda más pequeña posible es la longitud de Planck, mientras que el límite máximo sería el tamaño del Universo aunque formalmente el espectro electromagnético es infinito y continuo.

### 2.2.1 Bandas del espectro electromagnético

Para su estudio, el espectro electromagnético se divide en segmentos o bandas, aunque esta división es inexacta. Existen ondas que tienen una frecuencia, pero varios usos, por lo que algunas frecuencias pueden quedar en ocasiones incluidas en dos rangos.



### **2.3 INFRARROJO**

Las ondas infrarrojas están entre el rango de 0,7 a 100 micrómetros. La radiación infrarroja se asocia generalmente con el calor. Estas son producidas por cuerpos que generen calor, aunque a veces pueden ser generadas por algunos diodos emisores de luz y algunos láseres.

Las señales infrarrojas son usadas para algunos sistemas especiales de comunicaciones, como en astronomía para detectar estrellas y otros cuerpos; y para guías en armas, en los que se usan detectores de calor para descubrir cuerpos móviles en la oscuridad. También se usan en los controles remotos de los televisores, en los que un trasmisor de estas ondas envía una señal codificada al receptor de infrarrojos del televisor. En últimas fechas se ha estado implementando conexiones de área local LAN por medio de dispositivos que trabajan con infrarrojos.

### **2.4 ULTRAVIOLETA**

La luz ultravioleta cubre el intervalo de 4 a 400 nm. El sol es una importante fuente emisora de rayos en esta frecuencia, los cuales causan cáncer de piel a exposiciones prolongadas. Este tipo de onda no se usa en las telecomunicaciones, sus aplicaciones son más en el campo de la medicina.

## **2.5 RAYOS X**

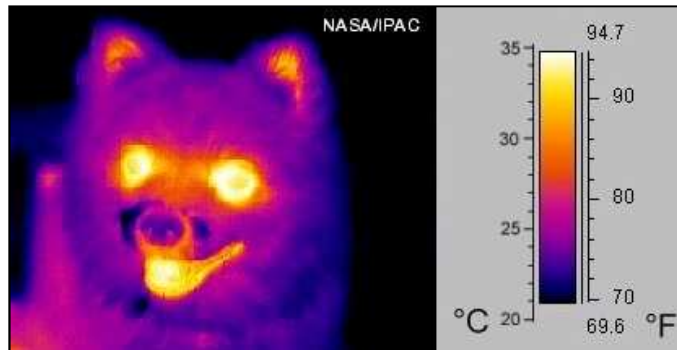
La denominación rayos X designa a una radiación electromagnética, invisible, capaz de atravesar cuerpos opacos y de impresionar las películas fotográficas. La longitud de onda está entre 10 a 0,1 nanómetros, correspondiendo a frecuencias en el rango de 30 a 3.000 PHz (de 50 a 5.000 veces la frecuencia de la luz visible).

## **2.6 RAYOS GAMMA**

La radiación gamma es un tipo de radiación electromagnética producida generalmente por elementos radioactivos o procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón. Este tipo de radiación de tal magnitud también es producida en fenómenos astrofísicos de gran violencia.

Debido a las altas energías que poseen, los rayos gamma constituyen un tipo de radiación ionizante capaz de penetrar en la materia más profundamente que la radiación alfa o beta. Dada su alta energía pueden causar grave daño al núcleo de las células, por lo que son usados para esterilizar equipos médicos y alimentos.

## 2.7 RADIACIÓN INFRARROJA



La radiación infrarroja, radiación térmica o radiación IR es un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas. Consecuentemente, tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas. Su rango de longitudes de onda va desde unos 700 nanómetros hasta 1 milímetro. La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 Kelvin, es decir, -273 grados Celsius (cero absoluto).

Todo en este planeta contiene energía térmica, consecuentemente todo tiene una temperatura específica. Esta energía térmica es emitida desde la superficie del material del que está compuesto el objeto. La cantidad de radiación infrarroja emitida en una cierta longitud de onda desde la superficie de un objeto, es función de la temperatura del objeto. Este es un concepto muy importante, puesto que implica que se puede medir la temperatura de un objeto midiendo la radiación infrarroja que emite.



### **2.7.1 Características de la radiación infrarroja**

El nombre de infrarrojo significa por debajo del rojo pues su comienzo se encuentra adyacente al color rojo del espectro visible.

Los infrarrojos se pueden categorizar en:

- infrarrojo cercano (0,78-1,1  $\mu\text{m}$ )
- infrarrojo medio (1,1-15  $\mu\text{m}$ )
- infrarrojo lejano (15-100  $\mu\text{m}$ )

La materia, por su caracterización energética (véase cuerpo negro) emite radiación. En general, la longitud de onda donde un cuerpo emite el máximo de radiación es inversamente proporcional a la temperatura de éste (Ley de Wien). De esta forma la mayoría de los objetos a temperaturas cotidianas tienen su máximo de emisión en el infrarrojo. Los seres vivos, en especial los mamíferos, emiten una gran proporción de radiación en la parte del espectro infrarrojo, debido a su calor corporal.

### **2.8 USOS DE LOS RAYOS INFRARROJOS**

Los infrarrojos se utilizan en los equipos de visión nocturna cuando la cantidad de luz visible es insuficiente para ver los objetos. La radiación se recibe y después se refleja en una pantalla. Los objetos más calientes se convierten en los más luminosos.

Un uso muy común es el que hacen los comandos a distancia (telecomandos o mandos a distancia) que generalmente utilizan los infrarrojos en vez de ondas de radio ya que no interfieren con otras señales como las señales de televisión. Los infrarrojos también se utilizan para comunicar a corta distancia los ordenadores con sus periféricos. Los aparatos que utilizan este tipo de comunicación cumplen generalmente un estándar publicado por Infrared Data Association. La luz utilizada en las fibras ópticas es generalmente de infrarrojos.

## **2.9 EMISORES DE INFRARROJO INDUSTRIALES**

Otra de las muchas aplicaciones de la radiación infrarroja es la del uso de equipos emisores de infrarrojo en el sector industrial. En este sector las aplicaciones ocupan una extensa lista pero se puede destacar su uso en aplicaciones como el secado de pinturas o barnices, secado de papel, termofijación de plásticos, precalentamiento de soldaduras, curvatura, templado y laminado del vidrio, entre otras. La irradiación sobre el material en cuestión puede ser prolongada o momentánea teniendo en cuenta aspectos como la distancia de los emisores al material, la velocidad de paso del material (en el caso de cadenas de producción) y la temperatura que se desee conseguir.

Generalmente, cuando se habla de equipos emisores de infrarrojo, se distinguen cuatro tipos en función de la longitud de onda que utilicen:

1. Emisores de infrarrojo de onda corta.
2. Emisores de infrarrojo de onda media rápida
3. Emisores de infrarrojo de onda media
4. Emisores de infrarrojo de onda larga

De cara a la aplicación de una u otra longitud de onda dentro de la radiación infrarroja, la elección se debe básicamente al espesor del material que se vaya a irradiar. Si se trata de un material con un espesor de pocos milímetros, lo más aconsejable es utilizar emisores de infrarrojo de onda corta, mientras que si el material presenta un espesor mayor la mejor opción es pasar a los emisores de infrarrojo de onda media o incluso larga. Otro aspecto que se tiene en cuenta a la hora de usar emisores de infrarrojo es la inercia térmica. Los emisores de onda corta prácticamente no tienen inercia térmica, es decir, en el momento en que se conectan a la corriente eléctrica ya están en sus condiciones óptimas de trabajo. Por otro lado, los emisores de onda media y sobre todo los de onda larga tienen mucha inercia térmica y pueden llegar a tardar hasta 4 minutos para poder ser usados de forma eficaz.

## **2.10 INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN TÉRMICA CON LOS CUERPOS**

Todos los cuerpos emiten y absorben radiación de su entorno. Si el cuerpo está más caliente que su entorno, se enfriará, ya que la rapidez con que emite energía excede la rapidez con que la absorbe. Cuando

alcanza el equilibrio térmico, la rapidez de emisión y la de absorción son iguales.

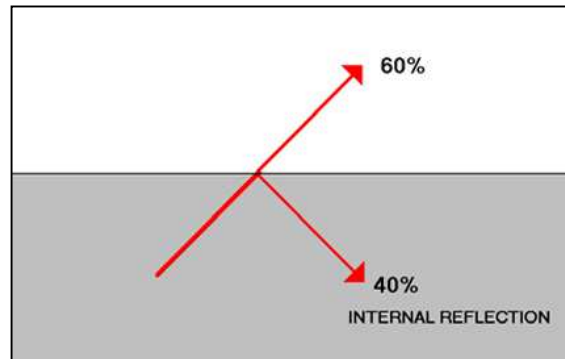
Del mismo modo, dos cuerpos que se encuentran en el vacío y a distintas temperaturas, tienden a llegar al equilibrio dinámico a través de la radiación.

## **2.11 ANOMALÍA TÉRMICA**

Cualquier condición que haga, que el gradiente térmico de la superficie se desvíe del patrón normal que debe existir para esa superficie en particular.

## **2.12 EMISIVIDAD**

La emisividad es un término usado para describir cual eficiente es un material a la hora de emitir la energía infrarroja comparada con un emisor perfecto de energía infrarroja. La emisividad es un factor de eficiencia y depende de las propiedades del material, del que este compuesto el objeto, de las características de la superficie y de la temperatura del objeto. Determinar la emisividad es crítico a la hora de medir temperaturas con una cámara termográfica.



### 2.12.1 Coeficiente de emisividad

El coeficiente de emisividad ( $\epsilon$ ), es un número adimensional que relaciona la habilidad de un objeto real para irradiar energía térmica, con la habilidad de irradiar si éste fuera un cuerpo negro.

Un cuerpo negro, por consiguiente, tiene un coeficiente  $\epsilon = 1$ , mientras que en un objeto real,  $\epsilon$  siempre se mantiene menor a 1.

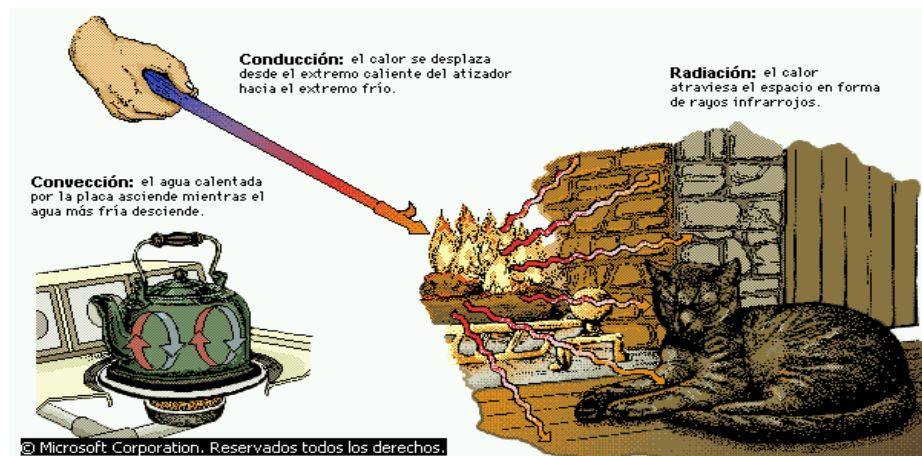
### 2.13 CUERPO GRIS

La emisividad depende de factores como la temperatura, el ángulo de emisión y la longitud de onda. Una suposición usada comúnmente en ingeniería, asume que la emisividad espectral de la superficie y la absorptividad no dependen de la longitud de onda, siendo, por lo tanto, ambos constantes. Esta regla se conoce como la suposición del cuerpo gris.

Cuando se habla de cuerpos no negros, la desviación del comportamiento de un cuerpo negro está determinada por la estructura geométrica y la composición química, y sigue la ley de Kirchhoff para la radiación térmica: emisividad igual a absorptividad (para un objeto en equilibrio térmico). Así un cuerpo que no absorbe toda la radiación, no emite toda la radiación respecto a un cuerpo negro.

## 2.14 TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor en física, es el proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. Por ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción, el agua de una cacerola situada sobre un quemador de gas se calienta en gran medida por convección, y la Tierra recibe calor del Sol casi exclusivamente por radiación.



El calor puede transferirse de tres formas: por conducción, por convección y por radiación. La conducción es la transferencia de calor a través de un objeto sólido: es lo que hace que el asa de un atizador se caliente aunque sólo la punta esté en el fuego. La convección transfiere calor por el intercambio de moléculas frías y calientes: es la causa de que el agua de una tetera se caliente uniformemente aunque sólo su parte inferior esté en contacto con la llama. La radiación es la transferencia de calor por radiación electromagnética (generalmente infrarroja): es el principal mecanismo por el que un fuego calienta la habitación.

### **2.14.1 Conducción**

En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción. No se comprende en su totalidad el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, pero se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura. Esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor.

En ingeniería resulta necesario conocer la velocidad de conducción del calor a través de un sólido en el que existe una diferencia de temperatura conocida. Para averiguarlo se requieren técnicas matemáticas muy

complejas, sobre todo si el proceso varía con el tiempo; en este caso, se habla de conducción térmica transitoria.

### **2.14.2 Convección**

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir.

### **2.14.3 Radiación**

La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas.

La contribución de todas las longitudes de onda a la energía radiante emitida se denomina poder emisor del cuerpo, y corresponde a la cantidad de energía emitida por unidad de superficie del cuerpo y por unidad de tiempo.



Las superficies opacas pueden absorber o reflejar la radiación incidente. Generalmente, las superficies mates y rugosas absorben más calor que las superficies brillantes y pulidas, y las superficies brillantes reflejan más energía radiante que las superficies mates. Además, las sustancias que absorben mucha radiación también son buenos emisores; las que reflejan mucha radiación y absorben poco son malos emisores. Por eso, los utensilios de cocina suelen tener fondos mates para una buena absorción y paredes pulidas para una emisión mínima, con lo que maximizan la transferencia total de calor al contenido de la cazuela.

## **2.15 CUERPO NEGRO**

Un cuerpo negro es un objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él. Nada de la radiación incidente se refleja o pasa a través del cuerpo negro. A pesar de su nombre, el cuerpo negro emite luz y constituye un modelo ideal físico para el estudio de la emisión de radiación electromagnética. El nombre Cuerpo negro fue introducido por Gustav Kirchhoff en 1862. La luz emitida por un cuerpo negro se denomina radiación de cuerpo negro.

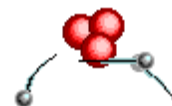
Todo cuerpo emite energía en forma de ondas electromagnéticas, siendo esta radiación, que se emite incluso en el vacío, tanto más intensa cuando más elevada es la temperatura del emisor. La energía radiante emitida por un cuerpo a temperatura ambiente es escasa y corresponde a longitudes de onda superiores a las de la luz visible (es decir, de menor frecuencia). Al elevar la temperatura no sólo aumenta la energía emitida sino que lo

hace a longitudes de onda más cortas; a esto se debe el cambio de color de un cuerpo cuando se calienta. Los cuerpos no emiten con igual intensidad a todas las frecuencias o longitudes de onda, sino que siguen la ley de Planck.

Además de los procesos de transmisión de calor que aumentan o disminuyen las temperaturas de los cuerpos afectados, la transmisión de calor también puede producir cambios de fase, como la fusión del hielo o la ebullición del agua. En ingeniería, los procesos de transferencia de calor suelen diseñarse de forma que aprovechen estos fenómenos. Por ejemplo, las cápsulas espaciales que regresan a la atmósfera de la Tierra a velocidades muy altas están dotadas de un escudo térmico que se funde de forma controlada en un proceso llamado ablación para impedir un sobrecalentamiento del interior de la cápsula. La mayoría del calor producido por el rozamiento con la atmósfera se emplea en fundir el escudo térmico y no en aumentar la temperatura de la cápsula.

## **2.16 ¿QUÉ ES EL CALOR Y CÓMO SE PRODUCE?**

El Universo está hecho de materia y energía. La materia está compuesta de átomos y moléculas (que son grupos de átomos) y la energía hace que los átomos y las moléculas estén en constante movimiento



- rotando alrededor de sí mismas, vibrando o chocándose unas con otras.

El movimiento de los átomos y moléculas crea una forma de energía llamada calor o energía térmica, que está presente en todo tipo de materia. Incluso en los vacíos más fríos de espacio hay materia que posee calor, muy pequeño pero medible.

La energía puede presentarse de muy diferentes formas y puede cambiar de una a otra. Muchos tipos de energía pueden convertirse en calor. La energía electromagnética (luz), la electrostática (o eléctrica), la mecánica, la química, la nuclear, el sonido y la térmica, pueden calentar una sustancia haciendo que se incremente la velocidad de sus moléculas. Si ponemos energía en un sistema éste se calienta, si quitamos energía se enfría. Por ejemplo, si estamos fríos podríamos ponernos a saltar para entrar en calor.

## **2.17 ¿QUÉ ES LA TEMPERATURA?**

La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia. Como lo que medimos en su movimiento medio, la temperatura no depende del número de partículas en un objeto y por lo tanto no depende de su tamaño. Por ejemplo, la temperatura de un cazo de agua hirviendo es la misma que la temperatura de una olla de agua hirviendo, a pesar de que la olla sea mucho más grande y tenga millones y millones de moléculas de agua más que el cazo.

## **2.18 ¿EN QUÉ SE DIFERENCIAN CALOR Y TEMPERATURA?**

Todos sabemos que cuando calentamos un objeto su temperatura aumenta. A menudo pensamos que calor y temperatura son lo mismo. Sin embargo este no es el caso. El calor y la temperatura están relacionadas entre sí, pero son conceptos diferentes.

El calor es la energía total del movimiento molecular en una sustancia, mientras temperatura es una medida de la energía molecular media. El calor depende de la velocidad de las partículas, su número, su tamaño y su tipo. La temperatura no depende del tamaño, del número o del tipo. Por ejemplo, la temperatura de un vaso pequeño de agua puede ser la misma que la temperatura de un cubo de agua, pero el cubo tiene más calor porque tiene más agua y por lo tanto más energía térmica total.

El calor es lo que hace que la temperatura aumente o disminuya. Si añadimos calor, la temperatura aumenta. Si quitamos calor, la temperatura disminuye. Las temperaturas más altas tienen lugar cuando las moléculas se están moviendo, vibrando y rotando con mayor energía.

La temperatura no es energía sino una medida de ella, sin embargo el calor sí es energía.

## **CAPITULO III**

### **MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y LA TECNOLOGIA** **INFRARROJA**

#### **3.1 FUNDAMENTOS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO A TRAVÉS DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA**

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

La termografía infrarroja juega un rol cada vez más importante en el mantenimiento. Esta técnica de producir imágenes a partir de la radiación térmica que emiten los objetos, sirve a los encargados de realizar las tareas de mantenimiento en dos aspectos:

- 1.- Es un medio que, sin contacto alguno, permite identificar componentes eléctricos y mecánicos más calientes de lo que deberían estar. En general, una falla electromecánica antes de producirse se manifiesta generando e intercambiando calor. Este calor se traduce

habitualmente en una elevación de temperatura que puede ser súbita, pero por lo general y, dependiendo del objeto, la temperatura comienza a manifestar pequeñas variaciones., e indica también pérdidas excesivas de calor que usualmente son síntomas de aislamiento defectuosa o inadecuada.

2.- Su empleo proporciona una reducción en los tiempos de parada al minimizar la probabilidad de detenciones imprevistas o no programadas, gracias al aporte que brinda en cuanto a la planificación de las reparaciones programadas y el mantenimiento.

En cuanto a la reducción de costos, el empleo de esta tecnología consigue ahorros en energía eléctrica, una protección adecuada de equipos valiosos, velocidad de inspección y diagnóstico, y lo más importante: evita las pérdidas de producción ocasionadas por paradas imprevistas.

### **3.2 FUNDAMENTOS FÍSICOS**

#### **LEY DE STEFAN- BOLTZMANN**

Todos los cuerpos que están a una temperatura por encima del cero absoluto ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) emiten energía radiante, la cual está sujeta a la temperatura del cuerpo y a un factor que depende del material, de la rugosidad y color de la superficie llamado emisividad.

### **3.3 ESPECTRO INFRARROJO**

Todo equipo y/o elemento emite energía desde su superficie. Esta energía se emite en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz a través del aire o por cualquier otro medio de conducción. La cantidad de energía esta en relación directa con su temperatura. Entre más caliente esta el objeto, más energía tiende a radiar.

La diferencia entre un cuerpo caliente y uno frío es el grado en el cual ambos cuerpos emiten y absorben energía. Si el objeto absorbe más energía que la que radia se le considera frío. Si el objeto emite más energía que la que absorbe se considera que está caliente.

La temperatura de los cuerpos determina el tipo de luz que emite, entre más frío sea el objeto mayor es la longitud de onda en la que brilla. Esta es la energía infrarroja, la cual es invisible al ojo humano, pero a través de equipos apropiados, "cámaras de termografía", podemos "ver" esta energía y transformarla en imágenes visibles.

### **3.4 DETERMINACIÓN DE LA EMISIVIDAD**

Existen varios métodos para determinar la emisividad de un material, a saber:

- Tablas de emisividad.
- Medición de temperatura por contacto.
- Comparación con una emisividad conocida.
- Especificaciones de fabricantes.

### **3.5 MANTENIMIENTOS DE EQUIPOS ELÉCTRICOS**

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

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

### **3.6 MANTENIMIENTO DE EQUIPOS MECÁNICOS**

Una inspección de infrarroja de equipos mecánicos identificará problemas causados por la fricción excesiva entre las piezas. Un punto caliente en un elemento mecánico, comúnmente, se origina por falta de lubricación, o bien por una lubricación inadecuada.

Ejemplos para una inspección infrarroja son los, cojinetes de deslizamiento, engranajes, sistemas de transmisión (correas, polea o cadena piñón), entre otros.



### **3.7 CUÁNDO Y CADA CUÁNTO SE DEBE MEDIR**

Es un error pensar que la termografía se debe realizar cuando surgen los problemas en algún tablero o alguna máquina. Las mediciones se deben realizar periódicamente, de acuerdo con el plan de mantenimiento preventivo, a fin de localizar los desperfectos y corregirlos antes de que éstos produzcan una parada imprevista, y lógicamente evitar todos los inconvenientes aparejados.

Por otro lado, mientras más frecuente se realicen las mediciones, más eficiente será el control del predictivo. Un intervalo normal para mediciones termográficas es cada 6 meses, pero depende de la instalación, la complejidad de los equipos en cuestión y la probabilidad de falla y el peligro potencial en juego como se indica seguidamente.

Una forma de definir los intervalos de inspección es determinando el grado de criticidad de la máquina, es decir evaluar cuán grande es el daño que ocasiona la parada de una máquina o la salida de servicio de algún equipo.

La experiencia indica que, para máquinas o equipos muy críticos como pueden ser los equipos de una subestación transformadora, resulta conveniente inspeccionar los cada cuatro meses y para equipos no tan críticos se recomienda una inspección cada seis meses.

### **3.8 PLANIFICACIÓN DE UNA INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA**

En el proceso de inspección termográfica es posible definir, en general, las siguientes etapas:

- Planificación de la inspección en los períodos de máxima demanda.
- Evaluación y clasificación de los calentamientos detectados.
- Emisión de informes, con identificación de las fallas y el grado de urgencia para su reparación.
- Seguimiento de la reparación.
- Revisión termográfica para evaluar la efectividad del mantenimiento correctivo realizado.

### **3.9 LA TERMOGRAFÍA COMO HERRAMIENTA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

La gran mayoría de los problemas y fallas en la industria, ya sea de tipo mecánico, eléctrico y/o de fabricación, están precedidos por cambios de temperatura, los cuales pueden ser detectados rápidamente por medio del monitoreo de temperatura, empleando un Equipo de Termografía (Cámara Infrarroja). La implementación de programas de Inspecciones Termográficas en subestaciones, equipo mecánico, tableros eléctricos, etc., minimiza el riesgo de fallas de intempestivas y sus respectivas consecuencias, al mismo tiempo que posibilita la programación adecuada del personal, herramientas y repuestos necesarios para corregir puntualmente cada problema encontrado con “Anormalidad Térmica”.

### **3.10 APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

El análisis termográfico, mediante Cámaras Infrarrojas, está recomendado para:

- Instalaciones y líneas eléctricas de Alta y Baja Tensión.
- Tableros, conexiones, bornes, transformadores, fusibles y empalmes eléctricos.
- Motores eléctricos, generadores, bobinados, etc.
- Reductores, frenos, rodamientos, acoplamientos y embragues mecánicos.
- Hornos, calderas e intercambiadores de calor.
- Instalaciones y aislamiento del Aires Acondicionados.
- Líneas de producción, corte, prensado, forja, tratamientos térmicos, etc.
- Industria Aeronáutica. Entre otros.

### **3.11 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON TERMOGRAFIA**

- Análisis en tiempo real, sin la necesidad de detener los equipos para hacer la inspección termográfica.
- Mayor seguridad para el operario, ya que evita la necesidad de contacto directo con el equipo.

- Determinación exacta de los puntos con problemas en una línea de proceso.
- Reduce el tiempo de reparación, gracias al detalle de la localización detallada de la Falla.
- Generación rápida de informes, orientados a las acciones a realizar por el personal de mantenimiento.
- Es una herramienta de apoyo, en la verificación de estado de equipos y/o sistemas reparados.
- Reducir tiempos muertos, ocasionados por paros imprevistos en producción.
- Reducir inventarios de repuestos.
- Reducir los sobrecostos por compras de repuestos de emergencia.
- Planear con suficiente tiempo, el Mantenimiento Correctivo de manera eficiente.

### **3.12 ESTRUCTURA DEL REPORTE**

Se incluyen las Imágenes térmicas, para observar con claridad el sobrecalentamiento localizado en el equipo, con la escala de temperaturas, fotografía visual, discriminación de la falla encontrada, así como recomendaciones de lo que se podría hacer para arreglar el problema, de acuerdo con el Diagnóstico.

La fotografía digital, sirve de referencia, mostrando la imagen visual, facilitando aun más la ubicación del problema, en el momento de hacer el correspondiente Mantenimiento Correctivo.

Una lista de Resumen, especificando el nombre de los equipos y puntos encontrados con problema, dando la posibilidad de buscar rápidamente la ubicación dentro del informe de cada falla reportada.

### **3.13 LOS ESCÁNERES IR PERIÓDICOS MANTIENEN LAS LUCES ENCENDIDAS**

Las compañías eléctricas deben contar con líneas de energía confiables para brindar el servicio que sus clientes esperan y merecen. Desafortunadamente, cuando los pararrayos para líneas eléctricas fallan, el sistema completo pende de un hilo. Las inspecciones periódicas ayudan a prevenir apagones detectando pararrayos defectuosos en las subestaciones y fallas en las líneas de distribución.

## **CAPITULO IV**

### **MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y LA TECNOLOGIA** **INFRARROJA**

#### **4.1 DEFINICION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

La labor del departamento de mantenimiento, está relacionada muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador ya que tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, la maquinaria y herramienta, equipo de trabajo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando en parte riesgos en el área laboral.

Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de rebajar el correctivo y todo lo que representa. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados, si la segunda y tercera no se realizan, la tercera es inevitable.

El mantenimiento preventivo permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costes de reparaciones, detectar puntos débiles en la instalación entre una larga lista de ventajas.

Aunque el mantenimiento preventivo es considerado valioso para las organizaciones, existen una serie de riesgos como fallos de la maquinaria o errores humanos a la hora de realizar estos procesos de mantenimiento.

El mantenimiento preventivo planificado y la sustitución planificada son dos de las tres políticas disponibles para los ingenieros de mantenimiento.

El primer objetivo del mantenimiento es evitar o mitigar las consecuencias de los fallos del equipo, logrando prevenir las incidencias antes de que estas ocurran. Las tareas de mantenimiento preventivo incluyen acciones como cambio de piezas desgastadas, cambios de aceites y lubricantes, etc. El mantenimiento preventivo debe evitar los fallos en el equipo antes de que estos ocurran.

## **4.2 HISTORIA**

Durante la segunda guerra mundial, el mantenimiento tiene un desarrollo importante debido a las aplicaciones militares, en esta evolución el mantenimiento preventivo consiste en la inspección de los aviones antes de cada vuelo y en el cambio de algunos componentes en función del número de horas de funcionamiento.

## **4.3 CARACTERISTICAS**

Básicamente consiste en programar revisiones de los equipos, apoyándose en el conocimiento de la máquina en base a la experiencia y los históricos obtenidos de las mismas. Se confecciona un plan de mantenimiento para cada máquina, donde se realizaran las acciones

necesarias, engrasan, cambian correas, desmontaje, limpieza, efectúan los overhaul de las maquinas, etc.

#### **4.4 VENTAJAS**

Se hace correctamente, exige un conocimiento de las máquinas y un tratamiento de los históricos que ayudará en gran medida a controlar la maquinaria e instalaciones.

El cuidado periódico conlleva un estudio óptimo de conservación con la que es indispensable una aplicación eficaz para contribuir a un correcto sistema de calidad y a la mejora de los continuos.

Reducción del correctivo representará una reducción de costos de producción y un aumento de la disponibilidad, esto posibilita una planificación de los trabajos del departamento de mantenimiento, así como una previsión de los recambios o medios necesarios.

Se concreta de mutuo acuerdo el mejor momento para realizar el paro de las instalaciones con producción.

#### **4.5 DESVENTAJAS**

Representa una inversión inicial en infraestructura y mano de obra. El desarrollo de planes de mantenimiento se debe realizar por técnicos especializados.



Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad.

#### **4.6 TERMOGRAFÍA DE INFRARROJOS PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

La imagen térmica es un valioso método de diagnóstico en el campo del mantenimiento preventivo - complemento importante a la medición de las vibraciones.

Si la termografía de infrarrojos revela irregularidades en la imagen térmica, una medición más específica con un sistema de medición de vibraciones y análisis de resultados, no sólo proporciona información adicional sobre la parte afectada de la máquina, sino también sobre el desarrollo potencial del daño.

#### **4.7 LA TERMOGRAFÍA EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL PREVENTIVO**

La gran mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial ya sea de tipo mecánico, eléctrico y de fabricación están precedidos por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistema de Termovisión por Infrarrojos. La implementación de programas de inspecciones termográficas en instalaciones, maquinaria, cuadros eléctricos, etc. es

posible minimizar el riesgo de un falla de equipos y sus consecuencias, a la vez que también ofrece una herramienta para el control de calidad de las reparaciones efectuadas.

El análisis mediante termografía infrarroja debe complementarse con otras técnicas y sistemas de ensayo conocidos, como pueden ser el análisis de aceites lubricantes, el análisis de vibraciones, los ultrasonidos pasivos y el análisis predictivo en motores eléctricos. Pueden añadirse los ensayos no destructivos clásicos: ensayos radiográficos, el ultrasonido activo, partículas magnéticas, etc.

## CAPITULO V

### MANTENIMIENTO CORRECTIVO

#### 5.1 ¿QUÉ ES MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y CÓMO LO REALIZA?

Hasta los años 50, en pleno desarrollo de la producción en cadena y de la sociedad de consumo, lo importante era producir mucho a bajo coste. En esta etapa, el mantenimiento era visto como un servicio necesario que debía costar poco y pasar inadvertido como señal de que "las cosas marchaban bien".

Más recientemente, la exigencia a que la industria está sometida de optimizar todos sus aspectos, tanto de costos, como de calidad, como de cambio rápido de producto, conduce a la necesidad de analizar de forma sistemática las mejoras que pueden ser introducidas en la gestión, tanto técnica como económica del mantenimiento.

#### **Pasos para realizar el mantenimiento correctivo**

- Una organización de mantenimiento.
  - **Recursos:** comprende personal, repuestos y herramientas, con un tamaño, composición, localización y movimientos determinados.
  - **Administración:** una estructura jerárquica con autoridad y responsabilidad que decida que trabajo se harán, cuando y como debe llevarse a cabo.

- Planificación del trabajo y sistema de control.

## **5.2 CLASIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Comprende el que se lleva a cabo con el fin de corregir (reparar) una falla en el equipo. Se clasifica en:

- No planificado
- Planificado

### **5.2.1 Mantenimiento Correctivo No planificado**

El correctivo de emergencia deberá actuar lo más rápidamente posible con el objetivo de evitar costos y daños materiales y/o humanos mayores.

Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.).

En el caso de ejemplo, la detección de la fuga de gas compromete a la gerencia a tomar la decisión de reparar la pérdida de gas, actuando ante una emergencia (generalmente la detección de un gas combustible, implica la existencia de una concentración peligrosa en el aire ambiente, la cual es explosiva).

Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir las fallas y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad.

También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad. Tiene como inconvenientes, que la falla puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia.

Otro inconveniente de este sistema, es que debería disponerse inmovilizado un capital importante invertido en piezas de repuesto visto que la adquisición de muchos elementos que pueden fallar, suele requerir una gestión de compra y entrega no compatible en tiempo con la necesidad de contar con el bien en operación (por ejemplo: caso de equipos discontinuados de fabricación, partes importadas, desaparición del fabricante).

Por último, con referencia al personal que ejecuta el servicio, no nos quedan dudas que debe ser altamente calificado y sobredimensionado en cantidad pues las fallas deben ser corregidas de inmediato. Generalmente se agrupa al personal en forma de cuadrillas.

Corrección de las averías o fallas, cuando éstas se presentan, y no planificada mente, al contrario del caso de Mantenimiento Preventivo.

Esta forma de mantenimiento impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc.

El ejemplo de este tipo de mantenimiento correctivo No Planificado es la habitual reparación urgente tras una avería que obligó a detener el equipo o máquina dañada.

### **5.2.2 Mantenimiento Correctivo planificado**

Se sabe con anticipación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuesto y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente. Al igual que el anterior, corrige la falla y actúa ante un hecho cierto.

La diferencia con el de emergencia, es que no existe el grado de apremio del anterior, sino que los trabajos pueden ser programados para ser realizados en un futuro normalmente próximo, sin interferir con las tareas de producción. En general, programamos la detención del equipo, pero antes de hacerlo, vamos acumulando tareas a realizar sobre el mismo y programamos su ejecución en dicha oportunidad, aprovechando para ejecutar toda tarea que no podríamos hacer con el equipo en funcionamiento.

Lógicamente, aprovecharemos para las paradas, horas en contra turno, períodos de baja demanda, fines de semana, períodos de vacaciones, etc.

Para el caso del ejemplo, podemos diferir hasta el fin de semana, en horas diurnas, la reparación de la chapa perforada si las condiciones del tiempo permiten realizarla.

Mientras tanto, debido a la zona en que ocurrió el hecho, probablemente no se haga más que trasladar los elementos que pudieran encontrarse cerca del patio interior y/o cubrirlos adecuadamente.

El Mantenimiento Correctivo Planificado consiste la reparación de un equipo o máquina cuando se dispone del personal, repuesto, y documentos técnicos necesarios para efectuarlo

### **5.3 TERMOGRAFÍA Y MANTENIMIENTO ELÉCTRICO**

En el mantenimiento correctivo, por termografía infrarroja permite detectar la avería en un menor tiempo posible; además de la imagen termográfica, se puede agregar una imagen real gracias a la cámara digital integrada y a la potente iluminación por luz infrarroja para fotografiar zonas oscuras. La asignación de la imagen real a la termográfica se realiza automáticamente con el software para PC, que permite así la rápida y sencilla elaboración de informes completos y de fácil interpretación para los inspectores.

## **5.4 TERMOGRAFÍA Y MANTENIMIENTO MECÁNICO**

La medición termográfica también ofrece múltiples posibilidades de uso en el mantenimiento correctivo industrial.

La detección prematura o la detección rápida una vez detectada la avería, minimiza el daño potencial en un componente imprescindible para el funcionamiento del sistema es vital para garantizar la seguridad y la fiabilidad de la maquinaria. El incremento de calor en componentes mecánicos puede indicar un sobre esfuerzo debido a fricciones, ajustes incorrectos, tolerancias excesivas o una lubricación insuficiente.

## **5.5 APLICACIÓN DE LAS CÁMARAS TERMOGRÁFICAS DESPUÉS DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

Este servicio asegura la verificación de que los sistemas de la instalación son diseñados, instalados y probados funcionalmente y demuestran su capacidad de ser utilizados y mantenidos tanto individuales como en su conjunto, para cumplir los requisitos del usuario.

Ningún sistema eléctrico tiene una eficiencia de un cien por ciento. Siempre hay una pequeña cantidad de energía que se transforma en calor debido al paso de la corriente eléctrica. El tiempo, cargas elevadas o fluctuantes, vibraciones, fatiga de materiales, condiciones ambientales, etc. Provocan que tanto los componentes como las superficies de contacto se vayan deteriorando, y por tanto aumentando la resistencia eléctrica.



Este aumento de resistencia lleva consigo inevitablemente un aumento de la temperatura del componente que en ocasiones puede producir problemas eléctricos como cortocircuitos o fallas en la alimentación a otros sistemas, pero a demás puede derivar en otros riesgos como incendios o daños personales.

Poder detectar este incremento de temperatura sin modificar las condiciones de trabajo, será fundamental para poder adelantarnos a la avería y de esta manera evitar un posible desastre futuro. Es aquí donde la termografía infrarroja se convierte en un instrumento eficaz en el mantenimiento ya que de una manera rápida y visual el termógrafo podrá determinar el estado de la instalación eléctrica así como el de los componentes que la forman.

## **5.6 FACILIDAD QUE BRINDA UNA CÁMARA TERMOGRÁFICA EN EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

La manera fácil y segura de identificar problemas y reducir periodos de inactividad imprevistos.

- Imágenes inmediatas de las medidas de temperatura sin contacto para detectar rápidamente puntos calientes
- Radiometría completa, para realizar análisis de temperatura detallados y supervisar los componentes principales
- Solución completa con el software para la realización de análisis, informes y rutinas

## **5.7 ANÁLISIS POR ÁRBOL DE FALLAS**

El Análisis por Árboles de Fallos (AAF), es una técnica deductiva que se centra en un suceso accidental particular (accidente) y proporciona un método para determinar las causas que han producido dicho accidente. Nació en la década de los años 60 para la verificación de la fiabilidad de diseño del cohete Minuteman y ha sido ampliamente utilizado en el campo nuclear y químico. El hecho de su gran utilización se basa en que puede proporcionar resultados tanto cualitativos mediante la búsqueda de caminos críticos, como cuantitativos, en términos de probabilidad de fallos de componentes.

Para el tratamiento del problema se utiliza un modelo gráfico que muestra las distintas combinaciones de fallos de componentes y/o errores humanos cuya ocurrencia simultánea es suficiente para desembocar en un suceso accidental.

La técnica consiste en un proceso deductivo basado en las leyes del Álgebra de Boole, que permite determinar la expresión de sucesos complejos estudiados en función de los fallos básicos de los elementos que intervienen en él.

Consiste en descomponer sistemáticamente un suceso complejo (por ejemplo rotura de un depósito de almacenamiento de amoníaco) en sucesos intermedios hasta llegar a sucesos básicos, ligados normalmente a fallos de componentes, errores humanos, errores operativos, etc. Este proceso se realiza enlazando dichos tipos de sucesos mediante lo que se

denomina puertas lógicas que representan los operadores del álgebra de sucesos.

## **5.8 CONCLUSIÓN**

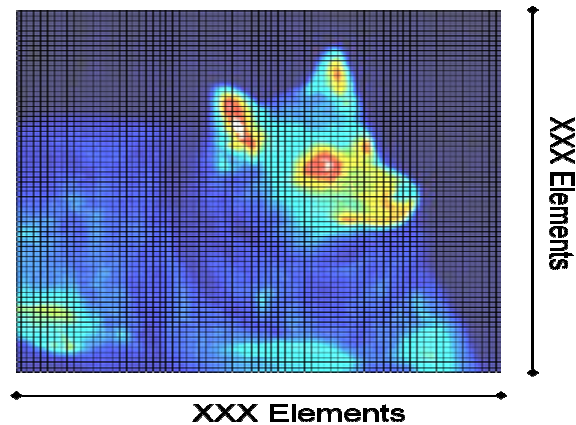
Es importante considerar que la productividad de una industria aumentará en la medida que las fallas en las máquinas disminuyan de una forma sustentable en el tiempo. Para lograr lo anterior, resulta indispensable contar con la estrategia de mantenimiento más apropiada y con personal capacitado tanto en el uso de las técnicas de análisis y diagnóstico de fallas implementadas como también con conocimiento suficiente sobre las características de diseño y funcionamiento de las máquinas.

## CAPITULO VI

### PARAMETROS A CONSIDERAR PARA LA INTERPRETACION DE IMÁGENES TERMOGRAFICAS

#### 6.1 COMO OBTENEMOS LA IMAGEN

Cada uno de los miles de elementos o píxeles, contienen un valor preciso de temperatura. El equipo, a través de una serie de complejos algoritmos, asigna colores de acuerdo al valor exacto de temperatura encontrado en la coordenada XY. Algunas cámaras almacenan únicamente la imagen térmica sin ninguna medición. Las cámaras radiométricas almacenan las mediciones de temperatura que pueden ser llevadas a una PC para su análisis posterior



#### 6.1.1 CÁMARAS RADIOMÉTRICAS

Es como tener miles de termómetros infrarrojos en uno.

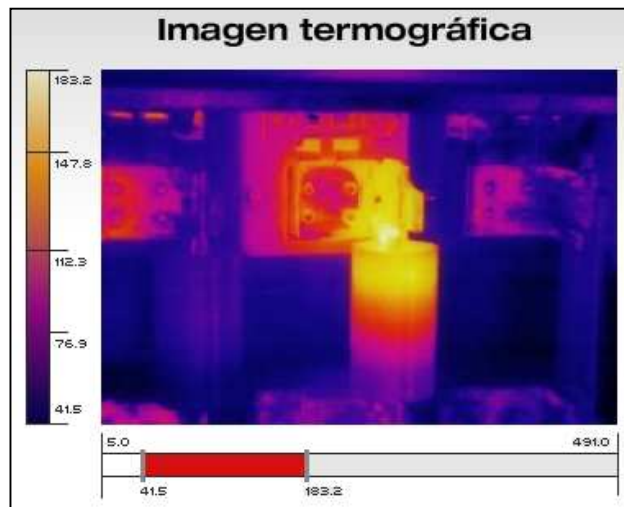


Cuando una imagen es capturada utilizando una cámara térmica Fluke, todos los datos del espacio circundante también se almacenan junto con la imagen permitiendo un análisis posterior profundo

## **6.2 CUALIDADES DE UNA BUENA IMAGEN IR**

Todos sabemos que una buena imagen termográfica además de presentar el tema de interés debe tener las siguientes cualidades.

- Enfoque
- Nivel térmico de la paleta de colores.
- Rango de la paleta de colores
- Rango térmico
- Perspectiva
- Composición
- Paleta de colores



### 6.2.1 ENFOQUE LA IMAGEN

Los problemas más comunes con la mayoría de las imágenes termográficas son debidos a la captura de una imagen desenfocada. Esto hace que el análisis y la evaluación sea cada vez más difícil porque una imagen termográfica desenfocada puede "generar" una disminución de la temperatura real sobre todo si estamos midiendo puntos muy calientes.

Como cualquier fotografía común, una imagen termográfica bien enfocada ofrece una claridad y detalles que no se ven en una imagen desenfocada, el enfoque es esencial para conseguir una imagen térmica de gran calidad y no puede modificarse una vez que la imagen haya sido almacenada en la memoria de la cámara.

### 6.2.2 NIVEL TÉRMICO DE LA PALETA DE COLORES

Es el equivalente al brillo de una fotografía.

### **6.2.3 RANGO DE LA PALETA DE COLORES**

Que es el similar al contraste de una fotografía.

### **6.2.4 RANGO TÉRMICO**

La medición de un objeto con una alta temperatura mediante un rango de temperaturas bajo puede causar que la imagen tomada aparezca confusa porque no se puede determinar el punto más caliente del objeto debido a que se mostrará como color blanco (por ejemplo, si el objeto tiene la temperatura más caliente de 300° C y usamos un nivel de temperatura de -40 ° a 120°C sólo se verá una imagen en blanco en la pantalla de su cámara termográfica). El Uso de un nivel adecuado de temperatura le proporcionara una mejor imagen para su análisis y para la posterior determinación de la fuente del problema.

### **6.2.5 PERSPECTIVA**

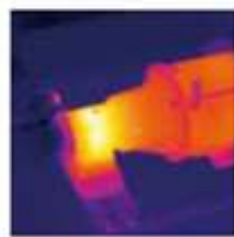
La perspectiva, es el mejor procedimiento para crear una sensación tridimensional en una fotografía. El ojo estima la distancia en base a la disminución de tamaño de los objetos y al ángulo de convergencia de las líneas (perspectiva lineal). Del objetivo y de la distancia dependerá el que la imagen resulte con mucha o poca profundidad. La sensación de profundidad es puramente ilusoria, pero constituye una técnica de composición muy importante.

## 6.2.6 COMPOSICIÓN

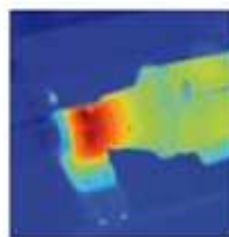
Es la forma en la que se ordenan los objetos vistos dentro del encuadre, dentro de lo que efectivamente queda en cuadro. La perspectiva, el horizonte, la diagonal, la línea "S", la imagen horizontal, la imagen vertical, el centro de interés, el fondo, el contraste, el equilibrio, son elementos a tener en cuenta a la hora de componer el cuadro, estos conceptos vienen originalmente de la pintura.

## 6.2.7 PALETA

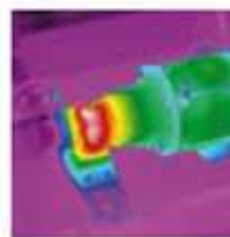
Representación cromática de las temperaturas (escala de temperatura) de una imagen en pantalla. Algunas paletas se adaptan a las preferencias personales para optimizar las imágenes según la aplicación o tipo de problema.



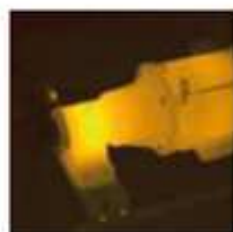
Hierro (ironbow)



Azul-rojo



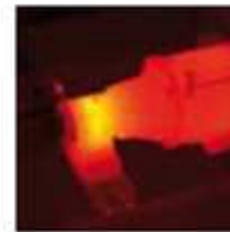
Alto contraste



Ámbar



Gris



Metal caliente



## **6.3 CONFIGURACIONES DE LA CÁMARA**

A continuación se detallan las configuraciones que se deben considerar al momento de utilizar el equipo de medición térmico.

### **6.3.1 EMISIVIDAD**

Todas las superficies emiten energía infrarroja o calor. El nivel de emisión varía mucho según la superficie y se describe con el término “emisividad”. La emisividad de los materiales y revestimientos pintados suele ser alta, mientras que en el aluminio pulido es baja. Para medir con precisión la temperatura de un material, será necesario realizar ajustes según la emisividad que tenga.

### **6.3.2 TEMPERATURA APARENTE REFLEJADA**

En ciertas situaciones, los objetos reflejados, como maquinas, hornos u otras fuentes de calor, tienen mayor temperatura que el objeto en estudio.

Y en otros casos, la temperatura reflejada puede ser menos que la del objeto, por ejemplo, cuando se refleja un cielo transparente. Por cierto, un cielo transparente, de día o de noche, invierno o verano, es siempre frío.

### **6.3.3 REFLECTIVIDAD**

Para obtener una imagen precisa también es importante considerar la reflectividad.

Los objetos de baja emisividad son al mismo tiempo muy reflectantes de sus entornos térmicos. Además muchos materiales son altamente reflectantes a la radiación infrarroja como se muestra en esta imagen.



El hecho es que, debido a que la Reflectividad de algunas imágenes térmicas pueden ser muy confusas. Recuerde que la energía reflejada que “ve” su cámara no esté relacionada con la temperatura real del objeto.

### **6.4 CAPTURA DE IMÁGENES**

La cuestión principal en termografía infrarroja es, cómo conseguir una buena imagen de infrarrojos. Esto suele convertirse en un problema básico sobre todo para los termógrafos principiantes, porque una buena captura de imágenes es fundamental para hacer una correcta evaluación y diagnóstico del problema.

## **6.4.1 FACTORES QUE PUEDEN INFLUIR EN LA PRECISIÓN DE LAS MEDIDAS**

Obtener temperaturas precisas depende de muchos factores entre los que podemos incluir:

- Calibración de la cámara
- Relación distancia-tamaño del objeto

### **6.4.1.1 CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA**

- **Calibración interna.** Al encender por primera vez la cámara termográfica la imagen se congela brevemente, esto es normal y forma parte de la operativa de todas las cámaras termográficas sobre todo al encenderlas.

Durante este tiempo, el obturador interno bloque brevemente la imagen en vivo mientras corrige y compensa cualquier variación en la medida, realizando de esta forma una secuencia de recalibración.

Una vez que la cámara ha estado trabajando durante un cierto tiempo en un ambiente determinado ya no necesita auto calibrarse tan frecuentemente.

Sin embargo si se desplaza a una zona con temperaturas muy distintas, entonces es posible que repita el proceso con más

frecuencia hasta estabilizarse nuevamente. Esto es normal para asegurar la precisión de su cámara. Este proceso interno de calibración se conoce como también corrección de no uniformidad o NUC. Respecto a la no-uniformidad, es un fenómeno que afecta a los detectores de la cámara, encargados de realizar la transducción entre la señal óptica y la señal eléctrica, la no-uniformidad se manifiesta en forma más crítica a medida que la región de operación de la cámara, se aleja del espectro visible y se adentra en el infrarrojo.

#### **6.4.1.2 RELACIÓN DISTANCIA-TAMAÑO DEL OBJETO**

La distancia también se convierte en un factor importante en termografía. Esto está relacionado con dos cosas, primero con la resolución espacial de la cámara y segundo con la condición atmosférica. El conocimiento de la resolución de su cámara termográfica es importante debido a la capacidad de la cámara para capturar el punto más pequeño en un área de 1 píxel. Por lo tanto, cómo resolver este problema? Fácil, acérquese lo suficiente a su objeto para que pueda obtener una lectura correcta.

- **CAMPO DE VISIÓN (FOV).** Indica lo que la cámara termográfica está viendo o midiendo en un momento determinado. Combinando la especificación del campo de visión y la distancia al objeto se determina qué superficie o parte de un objeto debe tomarse como un todo sobre el que realizar la medición.

## **CAPITULO VII**

### **TERMOGRAFÍA EN SISTEMAS ELECTRICOS Y ELECTROMECHANICOS**

#### **7.1 INTRODUCCIÓN**

Uno de los aspectos que caracteriza el desarrollo de una sociedad es su consumo de energía en todas sus formas y en particular su consumo de energía eléctrica. En este sentido observamos cómo la utilización de la electricidad en los países desarrollados se ha incrementado de forma importante en los últimos tiempos. Esta dependencia de la energía eléctrica se traduce en una demanda de un suministro eléctrico de mayor calidad y disponibilidad. Una pieza clave para lograr estos objetivos es el mantenimiento predictivo-preventivo de las líneas y sistemas de distribución eléctrica, lo cual exige la utilización de procedimientos y equipos de mantenimiento en conjunto con las necesidades actuales.

#### **7.2 APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA**

Con su cámara termográfica el técnico de mantenimiento va a poder examinar cada uno de los elementos que componen el sistema de distribución eléctrica en busca de patrones de calentamiento, lo cual le va a permitir detectar y resolver un posible problema antes de que de lugar a un fallo o interrupción en la línea.

En este sentido podremos hablar de dos tipos de inspecciones bien diferenciadas: por un lado las inspecciones cualitativas y por otro las inspecciones cuantitativas.

En el primer caso no se busca en primera instancia el medir con gran precisión la temperatura de los elementos, sino realizar una comparación de los patrones de temperatura de los elementos que estén trabajando en las mismas condiciones. Afortunadamente, la distribución eléctrica se basa en sistemas trifásicos, de forma que este método es perfectamente válido para la inspección de sistemas de distribución ya que vamos a poder comparar los elementos de una fase con los de las otras fases, lo cual nos proporciona una herramienta de inspección muy potente, rápida y fácil de utilizar.



Inspección cualitativa. Se compara la temperatura de los elementos de las tres fases

Una vez detectada una diferencia apreciable de temperatura en un elemento, podemos pasar a la inspección cuantitativa midiendo de forma precisa la temperatura de los elementos, para lo cual habrá que tener en cuenta varios aspectos, entre los que podemos citar:

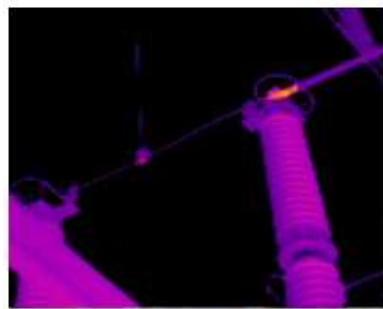
- I. **Emisividad de la superficie bajo estudio.** Las cámaras termográficas miden a través de su sensor bolométrico la radiación infrarroja emitida por los cuerpos, mostrando en la pantalla del

equipo una imagen de las temperaturas superficiales de dichos cuerpos, para lo cual utilizan básicamente la siguiente fórmula:

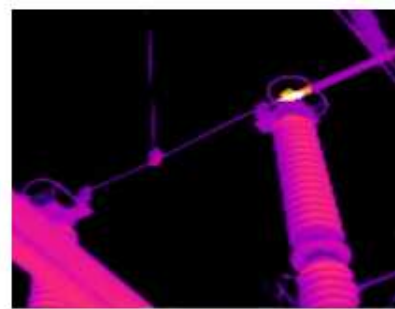
$$T = \sqrt[4]{\frac{R}{\sigma \epsilon}}$$

Donde podemos ver la relación entre la radiación medida y la temperatura mostrada. Ambos valores están relacionados por un parámetro llamado emisividad  $\epsilon$ , que toma valores comprendidos entre 0 y 1 y que viene a caracterizar la capacidad de emitir radiación por parte de dicha superficie. A nivel práctico, este parámetro suele presentar, para la mayoría de los cuerpos, valores altos, próximos a 0,95, aunque existen excepciones, principalmente los cuerpos con superficies metálicas pulidas (p.e. para el cobre pulido  $\epsilon = 0,2$ ). El termógrafo deberá tener en cuenta este parámetro y hacer los ajustes oportunos bien en la cámara termográfica, bien en el software de análisis para obtener un valor de temperatura que tenga en cuenta dicho valor de emisividad. A pesar de esta situación, la medida precisa de temperatura con las cámaras termográficas en sistemas de distribución eléctrica es factible, dado que una gran parte de los materiales utilizados en estas instalaciones presentan emisividades elevadas, como por ejemplo en materiales aislantes, piezas pintadas o sucias, con polvo o grasa, oquedades y grietas en tuercas y puntos de unión, etc., lo cual facilita ampliamente la medida de la temperatura al presentar emisividades próximas a 0,95.

- II. **Velocidad del viento.** Las inspecciones en el exterior deben tener en cuenta la velocidad del viento, ya que este es un factor que incrementa la transferencia de calor por convección entre los elementos calientes y el medio, lo cual puede dar lugar a una reducción de la temperatura de los puntos críticos, enmascarando problemas que pueden ser graves, recomendándose evitar la realización de inspecciones termográficas para velocidades del viento superiores a los 16 km/hora.



Termografía tomada con un viento de 14 km/h



Termografía tomada sin viento

- III. **Resolución espacial y resolución óptica.** Las cámaras termográficas, al igual que una cámara fotográfica normal, incluyen un sistema de lentes cuya misión va a ser la de focalizar adecuadamente la radiación sobre el sensor de la cámara. En función de la distancia focal y la resolución del sensor podemos definir dos parámetros que van a influir a la hora de obtener las imágenes termográficas. Por un lado podemos definir la resolución espacial o IFOVt como el ángulo de visión cubierto por cada píxel del sensor, aspecto que a nivel práctico va a definir el objeto más pequeño que puede detectar la cámara a una cierta distancia.



IV. **Temperatura de fondo.** Las cámaras termográficas miden la radiación procedente de un objeto para calcular su temperatura, sin embargo, es la radiación emitida por la superficie del objeto y no la reflejada por el mismo procedente del entorno la que determina su temperatura. Por ello, las cámaras termográficas a través del ajuste del parámetro denominado “temperatura de fondo o del entorno” compensan el efecto de la radiación emitida por el entorno y reflejada en la superficie del objeto.

Los procedimientos de operación deberán tener en cuenta la diferencia de temperatura entre el punto caliente detectado y la temperatura de elementos equivalentes o bien con la temperatura ambiente para determinar el nivel de actuación basado en una clasificación que determine la importancia y/o urgencia del problema detectado teniendo en cuenta aspectos tales como el nivel de carga, condiciones ambientales, etc. En este sentido se pueden encontrar referencias como las que proporciona la NETA (International Electrical Testing Association), de esta forma diferencias de temperatura entre elementos similares en las mismas condiciones de trabajo (carga, etc.) superiores a 15 °C podrían implicar la toma de acciones inmediatas para la reparación de dicho equipo.

Igualmente se recomienda el mismo tipo de acción cuando a diferencia de temperatura entre el elemento bajo estudio y la temperatura ambiente sea superior a los 40°C.

## **7.3 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA**

Teniendo en cuenta los aspectos mostrados en el apartado anterior, para facilitar el análisis desde un punto de vista termográfico de los sistemas de distribución eléctrica, vamos a agrupar dichos sistemas en tres áreas principales, las cuales presentarán unas características particulares. De esta forma vamos a hablar de inspecciones en líneas de distribución, inspecciones en subestaciones y finalmente inspecciones en centros de transformación.

### **7.3.1 LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA**

Son las encargadas de unir las centrales eléctricas con los puntos de consumo a través de las subestaciones y centros de transformación, proporcionando en la medida de lo posible la redundancia requerida gracias a su estructura de malla. Dada la gran distancia que puede existir entre centrales y usuarios, la tensión de las líneas de distribución eléctrica se fija a diferentes valores en las subestaciones donde es elevada y reducida a los valores generalmente normalizados, de forma que se minimicen las pérdidas eléctricas a la vez que se optimiza el costo de las instalaciones.

En función de dicha tensión de trabajo podremos hablar de líneas de media y alta tensión, cada una con sus características particulares tanto a nivel técnico (tensión nominal, altura de las torres, tipo de aisladores, número de líneas, etc.) como de gestión (criticidad, redundancia,

disponibilidad, etc.), características que habrá que tener en cuenta a la hora de realizar la inspección termográfica de las mismas.



Inspección termográfica de una línea de alta tensión

Uno de los aspectos que hay que tener en cuenta a la hora de considerar la inspección termográfica de las líneas de distribución será su accesibilidad. En este sentido podemos considerar tres formas básicas de inspección:

- Inspecciones aéreas.
- Inspecciones en todo-terreno.
- Inspecciones a pie.

### **7.3.2 ASPECTOS A TENER EN CUENTA**

**Condiciones ambientales.-** Como en cualquier otra inspección al aire libre habrá que tener en cuenta aspectos ambientales y atmosféricos como por ejemplo:

- a) La velocidad del viento, lluvias recientes, humedad, niebla etc., aspectos que pueden enmascarar un punto caliente al reducir la temperatura del mismo por efecto de la convección, evaporación etc.

- b) Igualmente habrá que tener en cuenta cualquier fenómeno de reflexión del sol, por lo que en este sentido se recomienda el uso de cámaras termográficas de longitud de onda larga (8 a 14 micras), frente a las cámaras de longitud corta (3 a 5 micras) que se ven, a priori, más afectadas por el sol y sus reflejos. En este sentido una forma de proceder para determinar si se trata de un reflejo o de un verdadero punto caliente será la toma de diferentes termografías con diferentes ángulos de incidencia, si el punto caliente desaparece al movernos entonces se trata de un reflejo.
  
- c) La época del año. Ya que en función de la misma la temperatura ambiental será diferente, pudiendo influir en la temperatura de los puntos calientes.
  
- d) La hora del día.

### **7.3.3 ASPECTOS LIGADOS A LA PROPIA INSTALACIÓN**

- a) Habrá que tener en cuenta el nivel de carga de la línea, recomendándose no realizar inspecciones con niveles de carga inferiores al 30%. En este sentido, la época del año también puede ser importante a la hora de elegir el momento adecuado para estacionalizar las rutinas de termografía; hay que tener en cuenta que en tiempos recientes y en determinadas zonas, el pico de consumo se ha trasladado del invierno al verano debido al uso de sistemas de climatización.

b) La altura de las torres. Dada la diferente altura de las torres de distribución eléctrica, dos aspectos a tener en cuenta a la hora de utilizar una cámara termográfica serán la resolución espacial o IFOV<sub>t</sub> y su resolución óptica o IFOV<sub>m</sub>. Como ya se ha comentado anteriormente, la resolución espacial nos determina el objeto más pequeño que es capaz de ver la cámara y la resolución óptica nos determina el objeto más pequeño sobre el cual se puede obtener una medida precisa de la temperatura. Ambos aspectos están determinados por el tipo de sensor y por la óptica de la cámara y habrá que tenerlos en cuenta a la hora de considerar la distancia desde la que vamos a realizar las termografías.

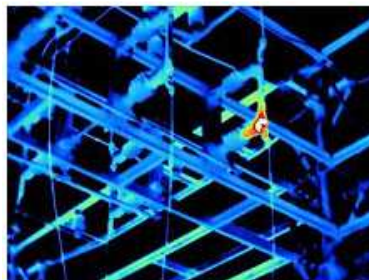
#### **7.4 SUBESTACIONES**

Las subestaciones eléctricas son los sistemas encargados de realizar la transformación y adecuación de las tensiones entre las diferentes redes de distribución eléctrica que llegan a las mismas, a la vez que proporcionan los elementos de mando, protección y corte para la gestión de dichas líneas. Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho, las subestaciones son instalaciones con una mayor riqueza de equipos y sistemas en comparación con las líneas de distribución, y con unas características particulares que las diferencian a la hora de realizar inspecciones termográficas.

### 7.4.1 ELEMENTOS A INSPECCIONAR

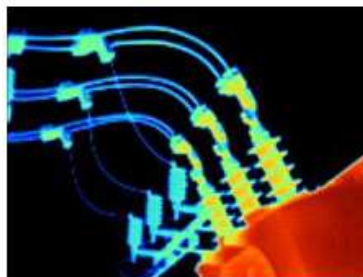
Los aspectos a examinar son los ya comentados: principalmente puntos de mal contacto tanto entre elementos fijos como entre elementos móviles, y en menor medida fallos de aislamiento. Sin embargo dado la gran riqueza de equipos podemos hablar también de fallos en baterías de condensadores, motores, sistemas de refrigeración, etc. Examinemos los principales puntos de fallo:

- a) Puntos de mal contacto. Las líneas de alta y media tensión que llegan hasta las subestaciones dan lugar a diferentes puntos de conexión y contacto. En este sentido se deben revisar, entre otros, los puntos de acometida, los contactos móviles de seccionadores, los cuales dada su naturaleza pueden tender a disminuir la presión de contacto incrementándose de esta forma su resistencia, lo que da lugar a puntos calientes fácilmente detectables con las cámaras termográficas. Igualmente se deben revisar las conexiones en interruptores, transformadores de medida, tanto de tensión como de corriente, y válvulas de descarga. A continuación revisaremos las conexiones de alta y baja en los transformadores de potencia donde nuevamente podremos encontrar contactos defectuosos.



Punto caliente en un seccionador

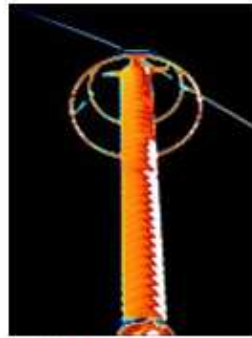
b) Sistemas de refrigeración. En el caso de los transformadores de potencia podemos aprovechar su inspección para revisar la temperatura de su cuerpo y sus sistemas de refrigeración, tanto si se trata de ventilación natural como forzada. En este segundo caso, y en menor importancia dada la redundancia de elementos, podemos revisar posibles sobrecalentamientos o defectos en los motores de ventiladores o el correcto patrón de temperatura de los intercambiadores de calor y el estado abierto o cerrado de sus válvulas de apertura.



Conexiones en un transformador

c) Sistemas de aislamiento. Al igual que ocurría con las líneas de distribución, los aisladores sucios o con depósitos pueden dar lugar a la aparición de corrientes de fuga que aumentan la temperatura del equipo.

Este es un problema que suele aparecer en instalaciones que muestran contaminación en los aisladores, la cual, junto a un aumento de la humedad pueden dar lugar a la aparición de descargas en los anillos del aislador. En dichos casos se recomienda la limpieza de estos elementos o la aplicación de siliconas especiales. Se deben revisar también los cuerpos de los descargadores.



Válvula de descarga

- d) Igualmente examinaremos posibles fallas en sistemas accesorios tales como baterías de condensadores de compensación de reactiva, sistemas de control en continua, cuadros auxiliares, etc.



Revisión del cuerpo de un transformador y sus sistemas de ventilación



Termografía con tecnología IR Fusión de una batería de condensadores

## 7.5 CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

Los Centros de Transformación son las instalaciones encargadas de transformar la media tensión en baja tensión para su utilización por parte de los usuarios finales, normalmente a tensiones de 400 V trifásica y 230 monofásica.



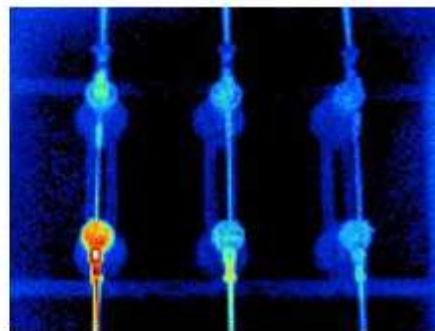
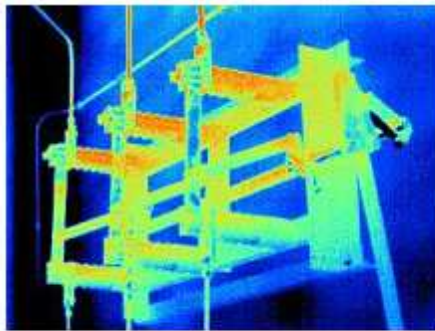
De forma general, un centro de transformación constará de un embarrado o anillo de media tensión (por ejemplo de 15 o 20 KV) al cual se pueden conectar a través de sus seccionadores oportunos una o más líneas. De este embarrado se alimentará el transformador o transformadores que proporcionan la baja tensión a los usuarios.

Estos transformadores se podrán aislar de la instalación gracias a los seccionadores e interruptores de protección instalados en la acometida del primario. Sus potencias pueden variar dependiendo de la instalación, pudiéndonos encontrar potencias de 250 KVA, 400 KVA, 630 KVA, 1000 KVA, etc. Finalmente la salida de los transformadores se distribuye a través de diferentes salidas protegidas por fusibles en los CGP o BTV.

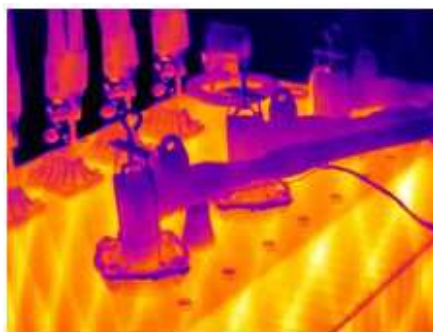
### **7.5.1 ELEMENTOS A INSPECCIONAR**

Considerando la descripción anterior, durante una inspección termográfica en un centro de transformación se deberán inspeccionar todos los puntos de unión de la instalación, por ejemplo, los contactos de aisladores pasamuros, seccionadores, fusibles limitadores e interruptores, prestando especial atención a puntos calientes provocados por una presión inadecuada en los contactos móviles. Igualmente se deberán revisar las conexiones del transformador, tanto los bornes enchufables en alta como los bornes de baja. Un calentamiento excesivo de uno de los bornes será una indicación de que el contacto no es correcto, por lo que deberemos revisar dichas conexiones enchufables o el apriete tuerca contra tuerca.

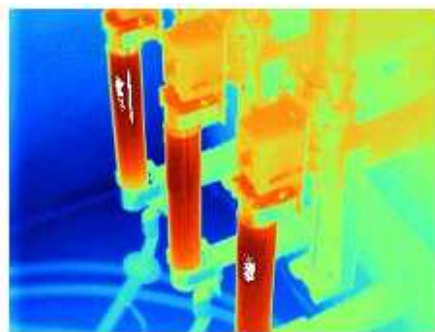
Adicionalmente a los puntos de unión, es recomendable inspeccionar el cuerpo de los transformadores para detectar cualquier anomalía interna. Evidentemente las cámaras termográficas no pueden ver el interior del transformador, pero lo que sí podemos ver es el efecto del calentamiento interno en la superficie del mismo, pudiendo detectar asimetrías en los patrones de calor que desvelen un problema interno.



Seccionadores en un centro de transformación



Conexiones de un transformador de potencia



Fusibles de protección

Finalmente, para la revisión de los fusibles de salida habrá que tener en cuenta que o bien están protegidos por un panel de PVC o bien son del tipo BTV, es decir los fusibles se encuentra dentro de una carcasa de plástico. En el primer caso, y teniendo en cuenta que el PVC o materiales similares para un grosor mínimo es opaco a la radiación infrarroja, no nos

quedará otro remedio que quitar dicho panel PVC si queremos realizar la inspección termográfica, por supuesto teniendo en cuenta todas las medidas de seguridad oportunas. Para los BTV esta operativa no es aplicable dada su estructura física, por lo que deberemos realizar una inspección del mismo teniendo en cuenta que el calentamiento que muestra cada elemento se debe a la conducción del calor por el material plástico. De esta forma podremos, incluso en estas condiciones, comparar las temperaturas de cada elemento. En cualquier caso, la inspección termográfica de las salidas de baja tensión deberá tener en cuenta el nivel de carga de cada línea.

Lo mismo que sucedía con las inspecciones en líneas y subestaciones, el método de trabajo pasa por una primera inspección cualitativa donde se comparan los diferentes elementos del sistema trifásico, buscando diferencias entre los elementos de cada fase para, una vez detectado algún elemento sospechoso, pasar al análisis cuantitativo que nos permita medir con precisión la temperatura de los puntos calientes detectados.

### **7.5.2 ASPECTOS A TENER EN CUENTA**

Evidentemente, para un centro de transformación en edificio las condiciones ambientales son un factor secundario, sin embargo en el caso de los CTI o Centro de Transformación de Intemperie, sí que habrá que tener en cuenta dichas circunstancias tal como comentamos para el caso de inspecciones en líneas y subestaciones. En el caso de los centros de transformación en edificio habrá que tener en cuenta la posible influencia

de la temperatura de fondo ambiental o de algún foco de calor particular, tales como potentes luminarias, las cuales podrían dar lugar a reflejos indeseados.



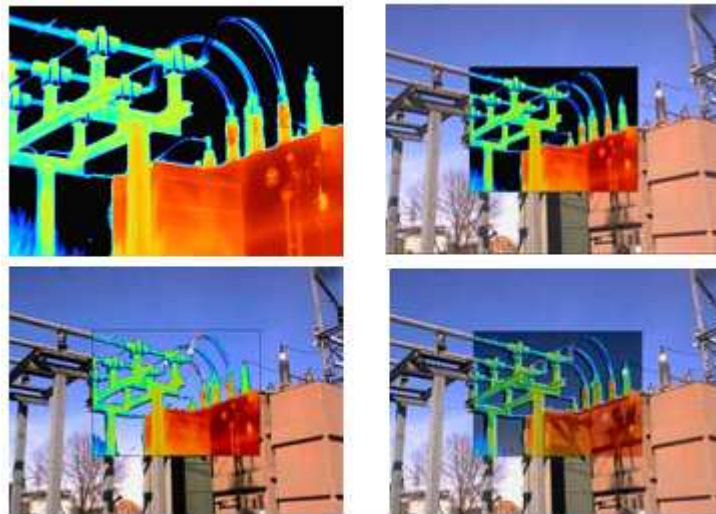
Imagen termográfica y de luz visible fusionadas con la tecnología IR Fusión de la cámara Ti25.

Dadas las dimensiones limitadas de los centros de transformación, donde todos los elementos suelen estar a una distancia respecto de la cámara normalmente no superior a los 2 metros, la utilización de una cámara termográfica con un  $IFOV_t = 2,5$  mrad., implica la obtención de imágenes detalladas y contrastadas, como por ejemplo, las que podemos obtener con la cámara termográfica Fluke Ti10, que cuenta con un sensor de  $160 \times 120$  píxeles, sensibilidad  $\leq 0,2$  °C, tecnología IR Fusión y búsqueda dinámica del punto más caliente y más frío.

Lo comentado hasta ahora hace referencia a centros de transformación tradicionales. En el caso de tratarse de un centro de transformación prefabricado o de un centro tradicional modificado que utilice celdas compactas prefabricadas, dado que estos últimos elementos son totalmente herméticos, la realización de inspecciones termográficas está más limitada.

## **7.6 EL PROBLEMA DE LA IDENTIFICACIÓN DE OBJETOS EN LA TERMOGRAFÍA**

Tal como hemos comentado anteriormente, la termografía es una tecnología disponible en el mercado desde hace más de tres décadas, sin embargo es en los últimos años cuando realmente se está produciendo su expansión a todas las áreas del mantenimiento. En este sentido Fluke ha dado un paso más hacia el futuro al introducir la tecnología IR Fusión gracias a la cual es posible combinar píxel a píxel una imagen termográfica con una imagen de luz visible estándar eliminando cualquier error de paralaje. El objetivo de esta tecnología es el de proporcionar la máxima información posible tanto al técnico como al gestor, de forma que sea más fácil la detección térmica de un problema en un sistema, pero a su vez que sea fácilmente identificable en su contexto de la instalación y para ello la tecnología IR Fusión de Fluke proporciona imágenes tanto en el formato pantalla completa como en el formato “Imagen dentro de imagen”, a la vez que puede controlar el nivel de fundido o transparencia de ambas imágenes proporcionando resultados tan espectaculares como los mostrados en las siguientes imágenes:



Ejemplos de diferentes formatos de presentación de imágenes obtenidas con la tecnología IR Fusion de Fluke

### **7.6.1 CONCLUSIONES**

Las mayores exigencias de disponibilidad y calidad del suministro eléctrico demandan el uso de tecnologías y procedimientos de mantenimiento basados en la predicción y prevención de los posibles fallos de las instalaciones eléctricas, siendo la termografía una herramienta clave al permitir ver de forma directa la evolución térmica de los diferentes componentes del sistema de distribución (líneas de distribución, subestaciones, centros de transformación, etc.). De esta forma se facilita la detección anticipada de posibles puntos de fallo de una manera sencilla, rápida y segura.

### **7.7 INSPECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS**

Las imágenes térmicas de los motores eléctricos muestran sus condiciones de funcionamiento a través de la temperatura de superficie. Este método de seguimiento resulta esencial para anticiparse y minimizar

el número de inesperadas averías en el motor en los sistemas principales de los procesos de la empresa, comerciales y de producción. Estas acciones preventivas son vitales, ya que, si un sistema principal falla, los gastos generales aumentan de forma inevitable, obliga a una redistribución de los trabajadores y del material, reduce la productividad y, si esta avería no se soluciona, puede perjudicar a la rentabilidad de la empresa y, probablemente, al bienestar de los empleados y los clientes.

### **QUÉ PUEDO COMPROBAR:**

Lo ideal sería realizar comprobaciones de los motores cuando estuvieran trabajando bajo condiciones normales de funcionamiento.

A diferencia de los termómetros por infrarrojos que sólo pueden capturar temperaturas en un único punto, una cámara termográfica puede capturar al mismo tiempo temperaturas de miles de puntos de todos los componentes principales: el motor, el acoplamiento del eje, los rodamientos del motor y del eje y cuadro de control/conexiones. Recuerde: todos los motores están diseñados para funcionar a una temperatura interna determinada. Los demás componentes no deben tener temperaturas superiores a las del alojamiento del motor.

### **QUÉ BUSCAR:**

En todas las placas de características de motores figura la temperatura de funcionamiento normal del motor. Aunque no se pueda observar el

interior de un motor con una cámara por infrarrojos, la temperatura de la superficie exterior le dará una estimación aproximada de la temperatura interna. A medida que la temperatura interna del motor aumenta, la temperatura exterior también aumenta. Por ello, un experimentado especialista en termografía que posea conocimientos de automoción, podrá identificar un flujo de aire insuficiente, un fallo inminente en un rodamiento, problemas de acoplamiento del eje y una degradación del aislamiento del rotor o del estator de un motor a través de imágenes térmicas.

Se recomienda crear una rutina de inspección que incluya todas las combinaciones de motores y variadores. A continuación, guarde una imagen térmica de todos los componentes en su ordenador y realice un seguimiento de sus medidas. De este modo, dispondrá de imágenes de referencia con las que comparar sus nuevas imágenes. Este procedimiento le ayudará a determinar si un punto caliente en una imagen le indica un fallo en el sistema y, una vez realizadas las reparaciones correspondientes, le ayudará a comprobar si estas reparaciones se llevaron a cabo correctamente.





## **SEGUIMIENTO**

Si sospecha que el sobrecalentamiento de su motor se ha producido por una de las razones que se mencionan a continuación, lleve a cabo la acción correspondiente:

a. Flujo de aire insuficiente. Si se puede detener el motor durante un corto período de tiempo sin afectar al funcionamiento general de la planta, detenga el motor el tiempo que sea necesario para limpiar las parrillas de admisión de aire y planifique una limpieza más profunda en el motor para la próxima parada de la planta que tenga prevista.

b. Desequilibrio de tensión o sobrecarga. Suele ser la causa más habitual de sobrecalentamiento. Una conexión defectuosa en un conmutador, en una de las protecciones o la caja de conexiones del motor, pueden localizarse a través de una cámara termográfica y confirmarse utilizando un multímetro, una pinza amperimétrica o un analizador de calidad eléctrica.

c. Fallo inminente en un rodamiento. Cuando las imágenes térmicas le muestran un rodamiento sobrecalentado, elabore una orden de mantenimiento para sustituir o lubricar el alojamiento. En el caso de que se trate de una reparación costosa o que requiera la mano de obra de un especialista, puede ayudarse de un análisis de vibraciones para determinar la acción más adecuada para este problema.

d. Fallo del aislamiento. El bobinado de un motor puede comprobarse utilizando un comprobador de aislamiento. Si se encuentran fallos en el aislamiento, elabore una orden de trabajo para que el motor se sustituya a la mayor brevedad posible.

e. Mala alineación del eje. En la mayoría de los casos, los análisis de vibraciones le confirmarán si el problema radica en una mala alineación del acoplamiento del eje. Si se puede detener el motor, puede utilizar los dispositivos de alineación por láser para corregir esta alineación errónea.

Cuando localice un problema de este tipo mediante una cámara termográfica, utilice el software para crear un informe con los resultados obtenidos, en el que se incluyan una imagen térmica y otra digital del equipo. Es la mejor forma de reportar los problemas que haya encontrado y de informar de las reparaciones que se deben realizar.



## **7.8 INSPECCIÓN DE RODAMIENTOS**

Las imágenes termográficas de sistemas eléctricos pueden dar una indicación de las condiciones de trabajo de los elementos y equipos que lo componen. De hecho, desde los inicios de la termografía, hace aproximadamente 4 décadas, su principal aplicación de campo ha sido la inspección de sistemas eléctricos.

Un gran número de programas de mantenimiento predictivo utilizan la termografía para realizar seguimientos de las temperaturas aparentes de un equipo. Con el visionado de una imagen térmica pueden detectarse fallos y evitar pérdidas del equipo. Mediante las imágenes térmicas que capturan mapas infrarrojos bidimensionales de las temperaturas de los rodamientos y del alojamiento, los técnicos podrán comparar las temperaturas de funcionamiento actuales con las especificaciones de referencia y localizar posibles fallos de funcionamiento.

### **QUÉ PUEDO COMPROBAR:**

En general, el análisis de vibraciones es el método más utilizado de los programas de mantenimiento predictivo para supervisar rodamientos de gran tamaño, fácil acceso y que trabajan a alta velocidad. No obstante, este análisis sólo se puede llevar a cabo de una forma segura si se colocan los transductores de medida de vibraciones sobre los rodamientos. En el caso de rodamientos de pequeño tamaño (por ejemplo, de los rodillos de una cinta transportadora), que funcionan a baja velocidad y a los que no se puede acceder directamente o que pueden poner en riesgo para la

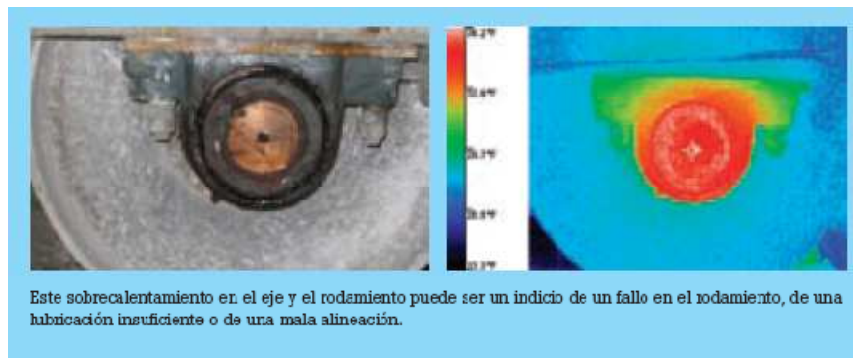
seguridad si se intenta acceder a ellos durante el funcionamiento del equipo, la termografía puede ser una buena alternativa. En la mayoría de los casos, se pueden realizar imágenes térmicas mientras el equipo está funcionando, si guarda una distancia de seguridad. Además, capturar imágenes térmicas con una cámara termográfica portátil es más rápido que realizar un análisis de vibraciones.

El equipo mecánico debe inspeccionarse cuando se haya calentado, se encuentre en un estado de funcionamiento estable y tenga una carga normal. De este modo, las medidas podrán interpretarse dentro de unas condiciones normales de funcionamiento.

Capture una imagen térmica del rodamiento que desea medir y, si fuera posible, capture imágenes de otros rodamientos de la misma área, cuando estén realizando la misma función o una similar: por ejemplo, capture y compare la imagen del rodamiento del lado opuesto de la cinta transportadora, del rodillo de una máquina de papel o de otro cojinete del mismo eje.

### **QUÉ BUSCAR:**

Los problemas en los rodamientos se suelen encontrar comparando sus temperaturas con las temperaturas de superficie de rodamientos similares que funcionan en circunstancias parecidas.



En una imagen por infrarrojos, el sobrecalentamiento se muestra como “puntos calientes” y se suele localizar comparándolo con las imágenes térmicas de un equipo similar. Uno de los procedimientos que se realiza durante la comprobación de rodamientos es la comparación entre las temperaturas de los bloques motor (para motores y rodamientos del mismo tipo), o bien de las temperaturas del estator y del bloque motor. Se recomienda crear una rutina de inspección en la que se incluyan los principales componentes del equipo rotativo. Si ya se realizan análisis de vibraciones de forma regular, puede añadir fácilmente técnicas de termografía a estos procesos de supervisión de rodamientos. Guarde todas las imágenes térmicas de las piezas inspeccionadas y realice un seguimiento de sus medidas utilizando el software que se incluye con la cámara termográfica. De este modo, dispondrá de imágenes de referencia para realizar las comparaciones correspondientes.

Así, podrá determinar fácilmente si un punto caliente de la imagen indica un fallo en el sistema y le ayudará a comprobar que las reparaciones se llevaron a cabo correctamente.

## **SEGUIMIENTO**

Todos los componentes de un equipo rotativo generan calor en los puntos de fricción del sistema: los rodamientos. El sistema de lubricación se encarga de reducir esta fricción de las piezas a diferentes grados de temperatura (en función del tipo de lubricación) y disipa el calor. A través de las imágenes térmicas podrá ver este proceso, a la vez que observa el estado de los rodamientos.

## CAPITULO VIII

### SOFTWARE SMARTVIEW

#### 8.1 INTRODUCCION

El software forma parte integral de su paquete termográfico FLUKE, ajuste y analice imágenes, cambie paletas, use herramientas de marcado de dibujo, tablas de temperatura grafica y otras herramientas de análisis. Cree informes termográficos personalizados con información detallada.

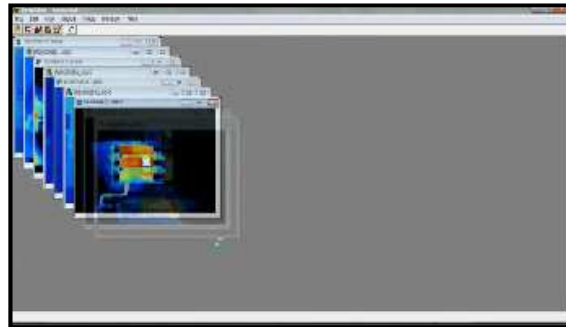
#### 8.2 DESCARGA Y TRANSFERENCIA DE IMÁGENES A SU PC

Transferir imágenes del generador a su PC es tan sencillo como hacerlo desde una cámara digital, retire la tarjeta de memoria SD del generador de imágenes e insértelas en el lector de tarjetas, conecte el lector de tarjeta a su PC con el cable y transfiera las imágenes a su PC.



En función del formato del archivo podrá usarlas en el software Smartview o en otro paquete de software, enviarlas por correo electrónico.

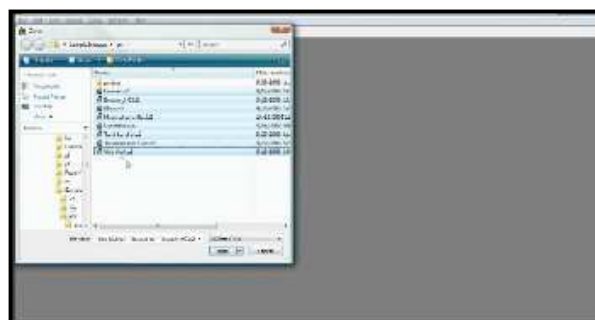
Si guarda las imágenes como archivo IS2 (Infrared Storage 2), podrá usar las herramientas de análisis y generación de informes Smartview.



Si guarda las imágenes como archivo .bmp (bitmap) podrá enviarlas por correo electrónico o insertarlas en documentos de Microsoft Word pero no podrá usar las funciones de análisis Smartview.

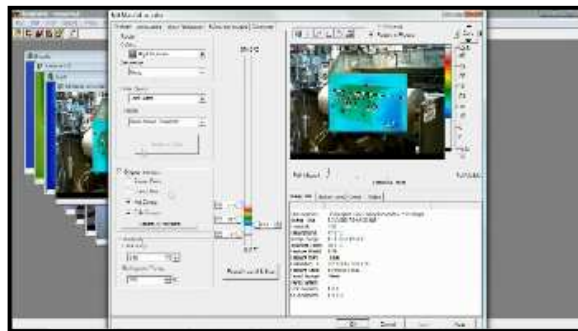
### 8.3 VER Y EDITAR

Para empezar seleccione archivo, abrir, seleccione las imágenes que desee visualizar y pulse abrir, haga doble clic en una imagen, en la ficha de análisis podrá regular fácilmente el nivel y el ámbito arrastrando el indicador o cambiando su valor de temperatura, use el menú desplegable de colores de la paleta para adaptar esta a sus necesidades de análisis o de generación de informes.



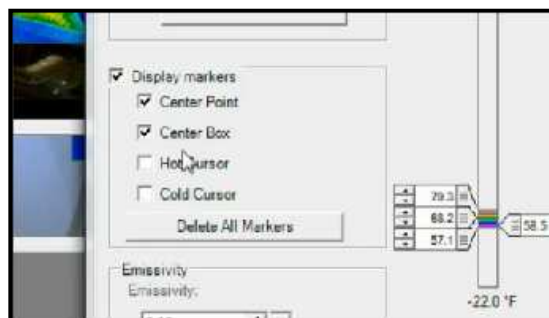


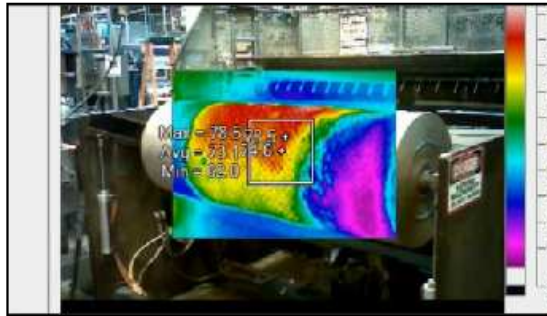
Tanto si edita como si analiza, su meta es seleccionar la paleta que mejor identifique y comunique el problema, ninguna paleta es errónea si cumple ese objetivo. Puede mover el control deslizante de totalmente infrarrojo a totalmente visible para fusionar la imagen.



## 8.4 MARCADORES

Use los marcadores para facilitar el análisis de los objetos, haga clic en las casillas para insertar marcadores predeterminados en la imagen, alternativamente defínalos usted mismo haciendo clic en el tipo de marcador que desee y arrastrándolo sobre la imagen, puede mover los marcadores con la herramienta de selección correspondiente.

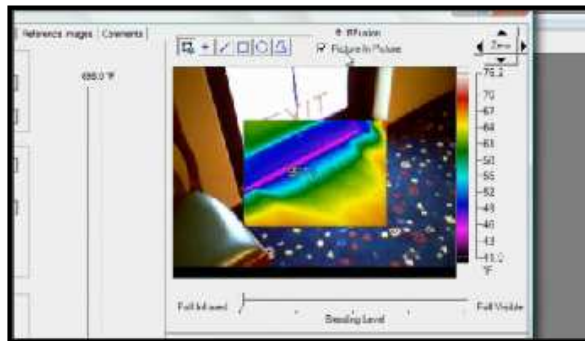




Para editar un marcador haga doble clic en el, a el menú que aparece cambie el nombre del marcador, su color o la ubicación del texto y añada datos. Para ocultar temporalmente los marcadores quite la marca de la casilla “mostrar marcadores”, para volver a mostrarlos márkuela de nuevo. Haga clic en la ficha de datos de marcadores, podrá ver datos y estadísticas sobre los marcadores que le ayudaran a analizar la imagen.

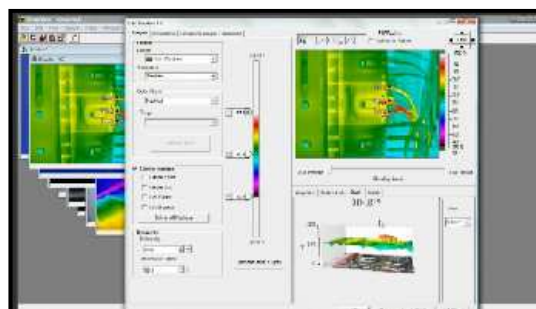
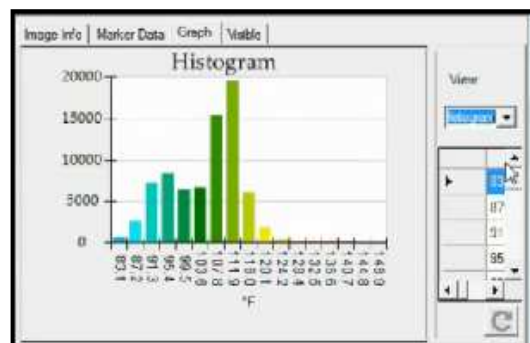
### **8.5 IMAGEN EN IMAGEN, FUSIONAR, ALARMA**

Visualicé la imagen en el modo imagen en imagen de IR Fusión para ver la imagen de infrarrojo en su contexto, también le será muy útil usar el control deslizante para fusionar las imágenes visibles e infrarrojos. Use el menú desplegable de alarma de color para activar ese tipo de alarma, hay cuatro opciones en la gama del menú desplegable, usted puede regular los ajustes arrastrando el indicador o cambiando su valor de temperatura para ver el detalle que necesite, por ejemplo cree una alarma para temperaturas por debajo de los 60°, si la imagen contiene temperaturas inferiores a los 60°, la paleta de infrarrojos será visible en esas áreas.



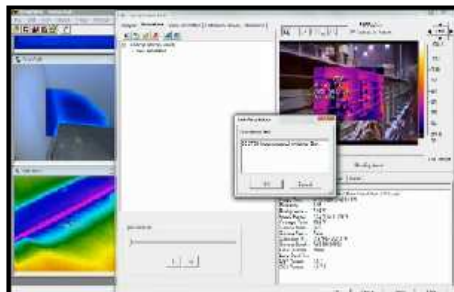
## 8.6 GRAFICA Y VISIBLE

Haga clic en la ficha de graficas, vera graficas de temperatura creadas con marcadores de líneas, diagramas de barras y las graficas de superficie 3D IR, use las graficas para analizar las imágenes más a fondo identificar otras zonas problemáticas y para encontrar y eliminar falsos positivos. Haga clic en la ficha visible vera la imagen de luz visible IR Fusión, y su imagen infrarroja una junto a otra lo que facilitara su análisis, marque la casilla de marco completo para ampliar su vista de la imagen de luz visible de referencia.



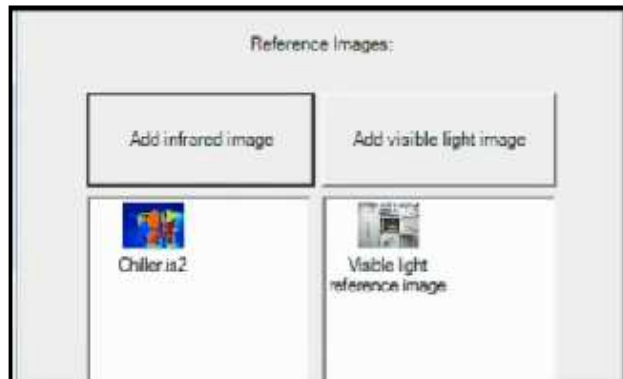
## 8.7 ANOTACIONES

A continuación valla a la ficha de anotaciones use las anotaciones de texto para describir la imagen, indique detalles tales como: ubicación, los problemas potenciales y la gravedad, toda la información que introduzca aquí se reflejara en el informe, puede añadir categorías y anotaciones de texto con los botones de menú o asiendo clic con el botón secundario del ratón, también puede añadir categorías y anotaciones de texto a todas las imágenes abiertas a la vez, seleccione herramientas, editor de archivos de anotaciones, abra el archivo de anotaciones mantenga pulsado el botón del ratón mientras arrastra la anotación, deje de pulsar el botón del ratón sobre una imagen para insertar la anotación en ella o deje de pulsarlo sobre el fondo para insertar la anotación en todas las imágenes abiertas, esto le ahorrara mucho tiempo.



## 8.8 IMÁGENES DE REFERENCIA

Haga clic en la ficha de imágenes de referencia, use esta función cuando quiera añadir una imagen que muestre el estado anterior y posterior a una reparación o para añadir cualquier otra imagen relacionada con el proyecto, su imagen de luz visible de referencia aparecerá automáticamente con las imágenes de IR Fusión.



## 8.9 FICHAS DE COMENTERIOS Y PARA GUARDAR CAMBIOS

Para añadir un encabezamiento y una leyenda a la imagen, haga clic en la ficha de comentarios e introduzca el texto, el texto del campo de comentarios servirá como leyenda de la imagen en el informe, cuando termine de añadir marcadores y otras anotaciones haga clic en aceptar para continuar y guardar los cambios. Alternativamente haga clic en cancelar para descartar los cambios. Si hace clic en aceptar para guardar los cambios, verá un asterisco en el título de la imagen que indica que se han hecho cambios pero que aun no se han guardado, haga clic en guardar para guardar los cambios.



## 8.10 INFORME SMARTVIEW

Una de las mejores funciones de Smartview es la creación de informes.

Smartview permite generar informes de dos formas:

- Informe rápido
- Asistente de informes



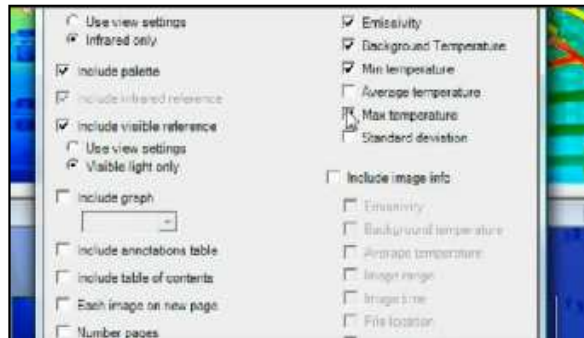
### 8.10.1 INFORME RÁPIDO

Para generar un informe para todas las imágenes abiertas con solo pulsar un botón, pulse informe rápido. En la barra de herramientas haga clic en informe y seleccione configuración de informes rápidos, configure el informe marcando o introduciendo las opciones de generación que desee en la pagina del título, puede cargar el logotipo de su empresa y una imagen para que aparezca en la portada del informe. También puede añadir una foto de las instalaciones que está inspeccionando o una foto o ilustración que realce la imagen de su empresa.



En la ficha de diseño puede seleccionar o deseleccionar las opciones que desee mostrar, por omisión la tabla de marcadores es visible e incluye las estadísticas de los marcadores que haya insertado al editar la imagen, marque la casilla, incluir grafica y seleccione la grafica para insertar esos detalles adicionales. Marque la casilla incluir tabla de contenido si el informe versa sobre varias imágenes y va a incluir los nombres de los archivos y los números las paginas en que aparecen.

La ficha de aspecto permite darle formato a los colores secundarios y añadir un encabezamiento y un pie de página. En la ficha de resumen, marque la casilla incluir resumen de informe si desea crear una página de resumen para el informe. A continuación introduzca el texto en la sección de resumen, cree campos de resumen de informes introduciendo un nombre en la columna de campo, por ejemplo “Eléctrico”, haga clic en la columna de resumen y escriba un resumen específico para ese informe, por ejemplo “algunos cables de corriente se están recalentando”, siga añadiendo campos y resúmenes según sea necesario, marque las casillas junto a las líneas que desee incluir en el informe.



También puede escribir un resumen tipo párrafo en la sección de texto de resumen del informe, haga clic en aceptar cuando termine.

A continuación haga clic en el botón informe rápido, en unos segundos se generara un informe basado en sus preferencias, guarde el informe, imprímalo o envíelo por correo electrónico a colegas o clientes. Todos los cambios realizados en la configuración para informes rápidos se han guardado y en el futuro todos los informes tendrán el mismo formato, este es la forma ideal de crear un informe típico que vaya a usar con frecuencia

### **8.10.2 ASISTENTE DE INFORMES**

Valla al menú de informe y seleccione la opción de “asistente”, quite la marca de las casillas junto a las imágenes que desee excluir del informe, haga clic en siguiente, haga clic en la plantilla de informe que desee usar, haga clic en siguiente, configure el informe siguiendo el mismo procedimiento que utilizo con la opción de informe rápido, el asistente de informe guardara la configuración que se uso para generar el último



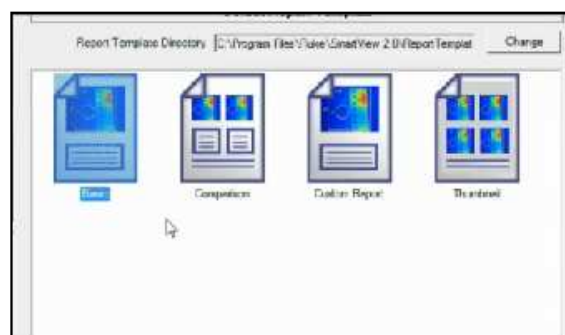
informe, además los campos de textos guardan las 15 entradas más recientes para que este accesible el texto que introduce con frecuencia, haga clic en finalizar para generar un informe.



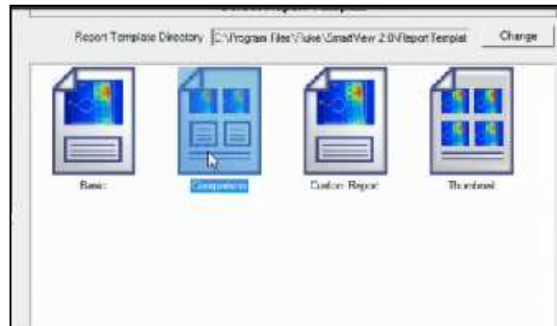
## 8.11 PLANTILLAS DE INFORMES

Smartview incluye tres plantillas de informes: básica, comparación y miniatura.

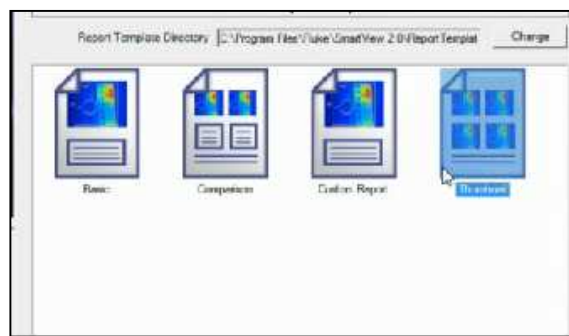
Use el tipo básica para informes genéricos para describir los resultados de una inspección y ofrecer sugerencias sobre las medidas necesarias.



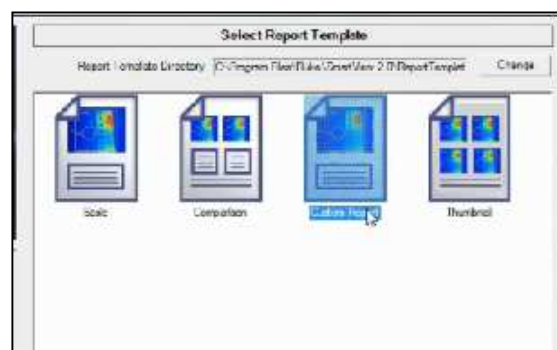
Use el tipo comparativo para comparar dos imágenes de infrarrojos, antes, después o correcto/incorrecto.



Use el tipo de miniatura para mostrar versiones reducidas de todas las imágenes capturadas durante una inspección.



Si utiliza Microsoft Word 2007 puede personalizar completamente el informe cuando cambia la ubicación de sus elementos ajustando en la configuración de la fuente y añadiendo más información.



## 8.12 PREFERENCIAS DE CONFIGURACION

Configure Smartview ajustando las preferencias, elija la opción de edición en la barra de herramientas, seleccione la opción de preferencias, valla a la ficha de aplicaciones para ajustar el orden de los archivos, el idioma y las unidades de temperaturas. Valla a la ficha de informe para ajustar el formato de salida de los informes. El formato de salida por omisión es un archivo “docx” compatible con Microsoft Word, aunque también se puede generar el informe en formato PDF, así mismo es posible generar el informe en ambos formatos a la vez, si genera el informe en Microsoft Word podrá insertar más información, usar herramientas tales como el corrector ortográfico y añadir datos cuando quiera. Ambos formatos de informes permiten imprimir los archivos o enviarlos por correo electrónico inmediatamente. Valla a la ficha de archivo para guardar o crear un archivo nuevo de configuración y para cambiar el directorio de plantilla de informes.

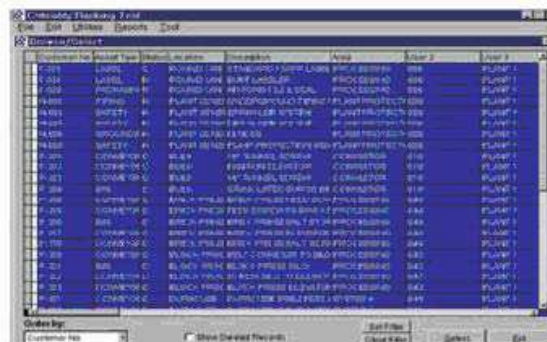


## CAPITULO IX

### MODELO DEL FORMATO DE INSPECCIONES

#### 9.1 ¿CÓMO EMPIEZA UNO?

Empiece con las listas existentes del equipo, aunque no estén actualizadas. Estos residen probablemente en un inventario de equipo para otra tecnología de monitoreo de condición. Elimine de la lista cualquier equipo en donde la termografía ofrece pequeñas promesas o para donde otras tecnologías son muy superiores. Enfóquese en el equipo que crea un cuello de botella en la producción o donde la seguridad sea preocupante o en cualquier otro que ha tenido fallas costosas en el pasado. No trate de completar la lista por sí mismo; obtenga información del piso, de los operarios, de la administración y de cualquier otra persona con conocimiento e interés. De ser posible, cree registros en una base de datos en formato electrónico, agrupando el equipo escogido en rutas preliminares (por área y función) eso puede ser inspeccionado en bloques de tiempo de dos o tres horas cada uno.



Equipment ID	Asset Name	Location	Manufacturer	Model	Serial	Inspected	Notes
1001	Motor	Plant	ABB	1000	123456789	Yes	
1002	Generator	Plant	Siemens	2000	987654321	No	Needs inspection
1003	Transformer	Plant	GE	3000	112233445	Yes	
1004	Compressor	Plant	Waukesha	4000	556677889	No	Check oil level
1005	Motor	Plant	ABB	5000	101112131	Yes	
1006	Generator	Plant	Siemens	6000	141516171	No	Check cooling system
1007	Transformer	Plant	GE	7000	181920212	Yes	
1008	Compressor	Plant	Waukesha	8000	222324252	No	Check pressure
1009	Motor	Plant	ABB	9000	262728293	Yes	
1010	Generator	Plant	Siemens	10000	303132333	No	Check load

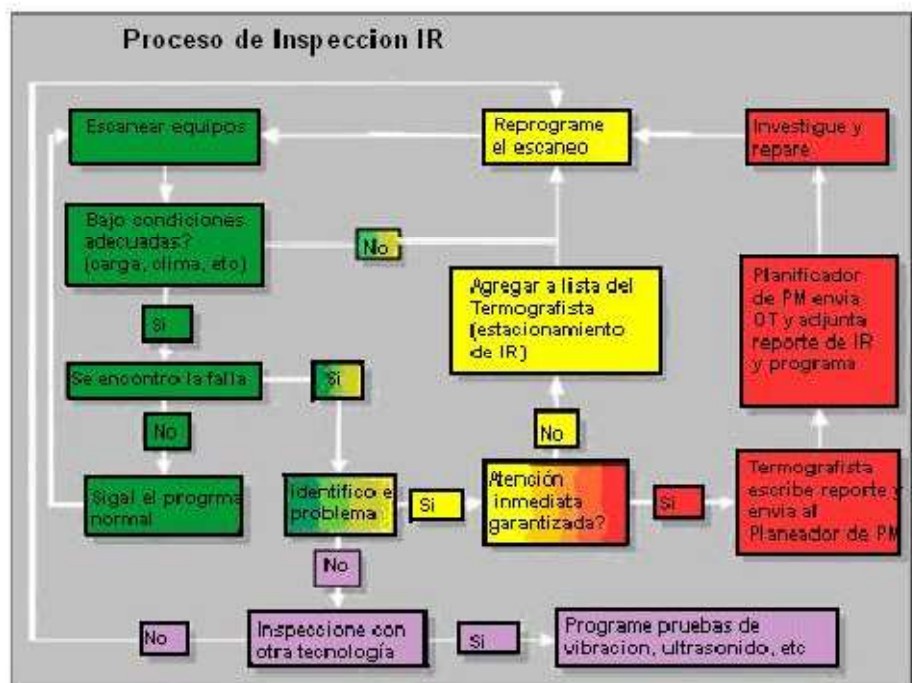
Para un programa exitoso, es esencial enlistar y priorizar todo equipo para ser inspeccionado. Una base de datos electrónica puede ser clasificada según varios parámetros para crear, y para modificar, las rutas infrarrojas de la inspección y frecuencias. El primer ciclo de inspección puede ir lentamente mientras se toma el tiempo en localizar el equipo, actualizar el listado, tratar con asuntos de acceso, etc.

Considere documentar todo el equipo con imágenes visuales, digitales y de gran calidad al mismo tiempo. Esto demostrará una referencia inapreciable más tarde. Todo esto toma tiempo pero, resultará una inversión sabia y una base sólida para el trabajo posterior. ¡Recuerde, usted obtendrá los resultados de sus esfuerzos, típicamente encontrando un resultado positivo a la mano!

Si la termografía es nueva en su planta, los primeros ciclos de inspección rendirán probablemente muchos hallazgos. Esto será definitivamente verdad si usted informa todas anomalías a pesar de su temperatura, un enfoque que se recomienda totalmente, incluso si usted no arreglará todo lo encontrado. Al hacerlo de otro modo, falla en documentar la condición verdadera del sistema y tiene como resultado una asignación pobre de recursos futuros al programa. Sin embargo, no permita que su organización se impresione por estas conclusiones. Priorícelos y dé les los recursos disponibles, primero repare esos que son lucrativo y fáciles de tratar. Los otros pueden esperar, pero deben ser planificados para inspecciones más frecuentes. Las inspecciones subsecuentes deben ser más minuciosas y efectivas.

Después de aproximadamente tres ciclos puede ser apropiado reorganizar las rutas tan para que sean más eficientes. Las tendencias deben comenzar a revelarse y el uso de múltiples tecnologías aumentará mucho sus resultados.

Continúe agregando nuevas rutas y equipo en el programa como el tiempo y los recursos permiten. Permita que el tiempo acumule y analice los datos para crear los informes para la administración. Usted nunca debe olvidarse que si el mantenimiento trabaja bien, usted encontrará menos y menos problemas. En ese punto, cuando muchos preguntarán por qué usted hace todavía lo que usted hace y "no obtiene resultados," usted necesita ser capaz de documentar sus logros.



Este diagrama de flujo es un ejemplo de cómo la termografía puede encajar lógicamente en un programa general de Mantenimiento que incluye otras tecnologías

Muchos termografistas caen en el error de inspeccionar una vez al año. ¡Esto es un error! Las frecuencias óptimas para la inspección deben ser determinadas por las necesidades de los activos del equipo. Algunas circunstancias, el uso, carga pesada o un mantenimiento pobre, pueden sugerir una frecuencia acelerada de la inspección. Es esencial, sin embargo, para empezar el proceso de la planificación que justifica estas necesidades óptimas, incluso si la realidad no sustenta aun la aplicación del programa completamente en este momento. Si usted empieza con una meta menor, nunca podrá justificar y, así, lograr la implementación total.

La realidad de con qué frecuencia las inspecciones ocurrirán realmente es manejado típicamente por fuerzas externas, obtener el presupuesto es el principal asunto. Teniendo un programa firmemente en su lugar, sin embargo, uno debe poder finalmente capear estas tempestades económicas, periódicas y anticipadas. ¿Por qué? Porque usted tendrá una idea buena de la condición verdadera de los activos y, así puede, si necesita, estirar las frecuencias sin el daño indebido a la planta o al programa como un total.



Crear el análisis formal de rutas y frecuencias se utiliza también como la manera más eficiente y efectiva de utilizar la termografía para el monitoreo basado en condición del equipo eléctrico.

Las frecuencias típicas de la inspección termográfica se basan en varios factores. El factor principal es la seguridad, la criticalidad del equipo, el gasto de una falla, y de la frecuencia con la cual los problemas han estado impactando la producción y/o el mantenimiento en el pasado. Este último es lo suficientemente importante para que usted le dedique más tiempo a investigar las fallas en el pasado, o de manera informal por discusiones con colegas o más formalmente revisando los registros de la planta. A largo plazo, sin embargo, son los resultados de sus inspecciones que manejarán los cambios en las frecuencias. Cuando menos problemas se encuentran, el resultado natural de un programa planeado de mantenimiento basado en monitoreo de condición, las frecuencias de la inspección para muchos activos se pueden extender. Es esencial, por lo tanto, para documentar todas sus conclusiones y para acumular y analizar estos datos periódicamente.

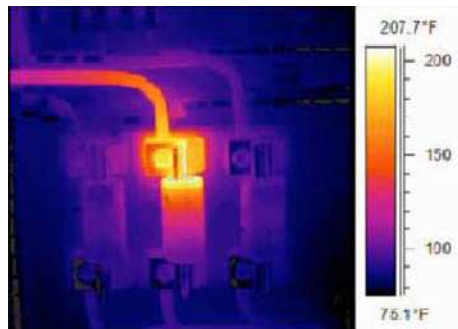


Las frecuencias siguientes, incluso si son irrealmente genéricas, son buenos objetivos a largo plazo.

Tipo de Equipo	Frecuencia de las Inspecciones
Subestaciones de Alto Voltaje	1-3 años
Transformadores	Anualmente
Centros de Control de Motores de 440V	
Aire Acondicionado	6-12 meses
Sin aire acondicionado o más viejo	4-6 meses
Equipo de distribución eléctrica	4-6 meses
Motores grandes	Anualmente
Motores pequeños	4-6 meses

Además es importante que todo equipo nuevo sea inspeccionado, como parte del proceso de la aceptación así como, especialmente para equipo más grande, para establecer la referencia de los datos térmicos. Muchas plantas ahora mandan rutinariamente a sus termógrafos fuera de la planta para inspeccionar el equipo nuevo antes de ser entregado a la planta por el vendedor. Estas inspecciones "fuera de compra" han probado ser de gran valor en muchos casos, al encontrar deficiencias y problemas antes de que el equipo es aceptado.

Cuándo las reparaciones o modificaciones son realizadas al equipo, el programa debe poner sobre aviso al termografista para realizar una inspección de seguimiento. Los datos sugieren que las reparaciones son a menudo inadecuadas, por una variedad de razones, de modo que las re-inspecciones son una parte crítica del mantenimiento de calidad.



Las recomendaciones iniciales de limpiar este clip de fusible y volver a instalar el fusible fueron inadecuadas. Un seguimiento de la inspección térmica sugirió que el clip de fusible había sido dañado e irreparable y necesitaba ser reemplazado. Las condiciones para inspeccionar un activo particular no pueden ser óptimas ni aún aceptables cuando el tiempo viene vencido. Tal trabajo debe ser reprogramado en vez de ser postergado hasta el próximo ciclo. Espere acabar con una lista de equipo que necesita se incremente el monitoreo hasta que las reparaciones puedan ser planificadas.

Algunos programas dejan espacio en el calendario para esta clase de trabajo "atrapado" un día/mes.

Con el tiempo, y con la planificación y el apoyo, usted estará inspeccionando todos los activos con la frecuencia apropiada con los recursos disponibles.

Mientras este enfoque puede tomar un poco más tiempo y energía inicialmente, haciéndolo correctamente desde el principio, se retribuye con grandes beneficios con el tiempo. Usted no puede parecerse a un

súper héroe cuando falla en encontrar los problemas de "humo caliente" cada semana, pero usted puede estar orgullosos del hecho que usted ha documentado la condición térmica verdadera de todos los activos que usted inspecciona, permitiendo ser mantenidos apropiadamente, y eso vale mucho más con el tiempo.

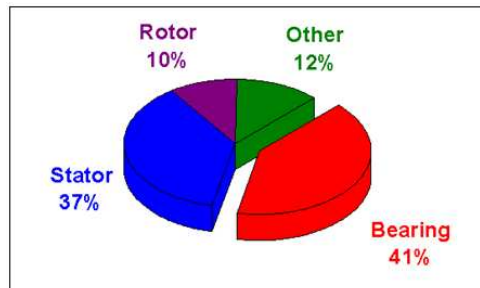
La gran mayoría de los problemas y fallas en la industria, ya sea de tipo mecánico, eléctrico y/o de fabricación, están precedidos por cambios de temperatura, los cuales pueden ser detectados rápidamente por medio del monitoreo de temperatura, empleando un Equipo de Termografía (Cámara Infrarroja). La implementación de programas de Inspecciones Termográficas en subestaciones, equipo mecánico, tableros eléctricos, etc., minimiza el riesgo de fallas de intempestivas y sus respectivas consecuencias, al mismo tiempo que posibilita la programación adecuada del personal, herramientas y repuestos necesarios para corregir puntualmente cada problema encontrado con "Anormalidad Térmica".

## **9.2 AVERIAS MÁS COMUNES EN MOTORES**

Comúnmente las únicas herramientas usadas por el personal de mantenimiento para detectar fallas en motores han sido un megger (medidor de aislamiento) y un ohmímetro. Desdichadamente la información brindada es muy general y no precisa la zona de falla del motor en estudio. Es muy fácil el diagnóstico erróneamente si se confía solo en los resultados de un megger.

Por ejemplo, un corto entre espiras o entre fases puede perfectamente estar disparando un motor y al medir el aislamiento este está en buen estado.

Ya que estas fallas aunque son un problema de aislamiento en el devanado podrían estar aisladas completamente de tierra y por lo tanto el megger no las detecta. Este tipo de anomalías deteriora rápidamente el devanado lo cual resultara en un futuro reemplazo u “overhaul” del motor.



Estudio de fallas en Motores Eléctricos

La ilustración 1 muestra un estudio realizado entre el Electric Power Research Institute (EPRI) y General Electric. El propósito de este estudio fue el mostrar las verdaderas fuentes de falla en motores eléctricos.

Entonces no preguntamos, ¿estamos realmente diagnosticando todas las zonas posibles de falla en un motor?

Realmente la respuesta es simple, ni vibraciones, ni un ohmímetro ni un megger logran revisar todas las zonas de falla de un motor, entonces, ¿la

tecnología predictiva que está aplicando en su planta es suficiente para evaluar todos los componentes que pueden causar la falla de un motor?

Las pruebas eléctricas aplicadas a un motor deben de ser confiables y nos deben dar un diagnóstico completo de todas las zonas o áreas de falla de un motor. Las pruebas a realizar deben incluir pruebas tanto con motor energizado como con motor detenido. Las pruebas con motor detenido son de particular importancia en aquellos casos en que un motor se este disparando y su puesta en funcionamiento puede terminar de dañarlo, o en el caso de pruebas de puesta en marcha al instalarse un nuevo equipo de producción.

Para el diagnóstico de un motor, se han establecido las siguientes zonas o áreas de fallas.

- Circuito de Potencia.
- Aislamiento.
- Estator.
- Rotor.
- Excentricidad (entrehierro).
- Calidad de energía

El análisis de estas 6 zonas nos permite distinguir entre un problema mecánico o eléctrico y en el caso de un problema eléctrico detallar la solución.

### **9.2.1 CIRCUITO DE POTENCIA**

Generalmente se establece desde el Centro de Control del Motor (CCM) hasta la caja de bornes del mismo, e involucra a todos los conductores con sus bornes, interruptores, protecciones térmicas, fusibles, contactores y cuchillas.

En un circuito típico de potencia, se ha demostrado por EPRI que los falsos contactos han sido la fuente de un 46% de las fallas en motores, por lo que aunque muchas veces el motor este en excelente estado, este se instala en un circuito de potencia defectuoso, que a la postre lo daña.

Los problemas de conexiones de alta resistencia (se oponen al paso de la corriente) son variados, entre ellos:

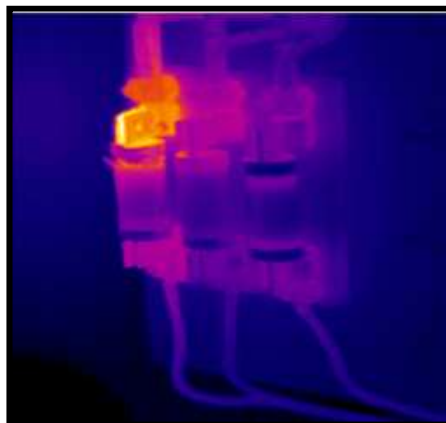
- Generación de armónicas.
- Desbalances de voltaje.
- Desbalances de corriente.

Típicamente las conexiones de alta resistencia son causadas por:

- Terminales corroídos.
- Cables sueltos.
- Barras sueltas.
- Prensa fusibles corroídos.
- Hilos abiertos.
- Conexiones entre Aluminio - cobre.
- Diferentes tamaños de conductores

Uno de los métodos que usamos para detectar defectos en el circuito de potencia en un motor / generador, trifásico es la medición de resistencia entre fases, es una prueba estática con motor detenido. En un equipo en buen estado las tres lecturas entre las fases deberían ser casi idénticas, su desbalance resistivo debe ser menor a un 5%. Dinámicamente, con motor energizado el circuito es evaluado completamente al detectarse desbalances de voltaje en cualquiera de las fases.

Otro de los métodos utilizados para complementar el diagnostico del circuito de potencia es la termografía IR, sin duda una de las técnicas más conocidas para detectar falsos contactos.



Desbalance resistivo – Falso contacto

## **CAPITULO X**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **10.1 CONCLUSIONES**

1. La gran mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial, ya sea de tipo mecánico, eléctrico y de fabricación, están precedidos por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistema de Termovisión por Infrarrojos.
2. La implementación de programas de inspecciones termográficas en instalaciones, maquinaria, cuadros eléctricos, etc., permite minimizar el riesgo de un falla de equipos y sus consecuencias, a la vez que también ofrece una herramienta para el control de calidad de las reparaciones efectuadas.
3. La radiación infrarroja es la señal de entrada que la cámara termográfica necesita para generar una imagen de un espectro de colores, en el que cada uno de los colores, según una escala determinada, significa una temperatura distinta, de manera que la temperatura medida más elevada aparece en color blanco.
4. La termografía infrarroja facilita la detección de aquellos puntos que presentan una temperatura fuera de la normal, para el efecto se utiliza una cámara termográfica que capta la emisión infrarroja invisible que emite el



cuerpo caliente. Dicha medición se efectúa a distancia sin interrumpir el sistema o proceso.

5. Las inspecciones termográficas ayudan a la detección de: empalmes o conexiones sulfatadas, desgaste de materiales, contactos defectuosos, alta resistividad, desbalance entre fases, fuga en válvulas y escapes de gas.

6. Sus ventajas más significativas, son: equipos siempre listos para la producción, menos mano de obra, menor consumo de repuestos, optimización de procesos, planeación del momento oportuno para efectuar la reparación, presupuestos de mantenimiento más reales, disminución en reparaciones preventivas, aumento de productividad.

## **10.2 RECOMENDACIONES**

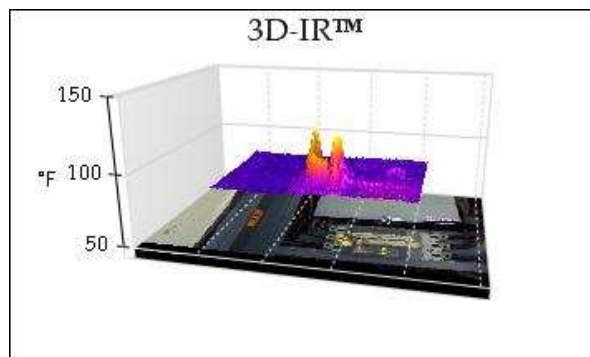
1. El análisis mediante Termografía infrarroja debe complementarse con otras técnicas y sistemas de ensayo conocidos, como pueden ser el análisis de aceites lubricantes, el análisis de vibraciones, los ultrasonidos pasivos y el análisis predictivo en motores eléctricos. Pueden añadirse los ensayos no destructivos clásicos: ensayos radiográficos, el ultrasonido activo, partículas magnéticas, etc.

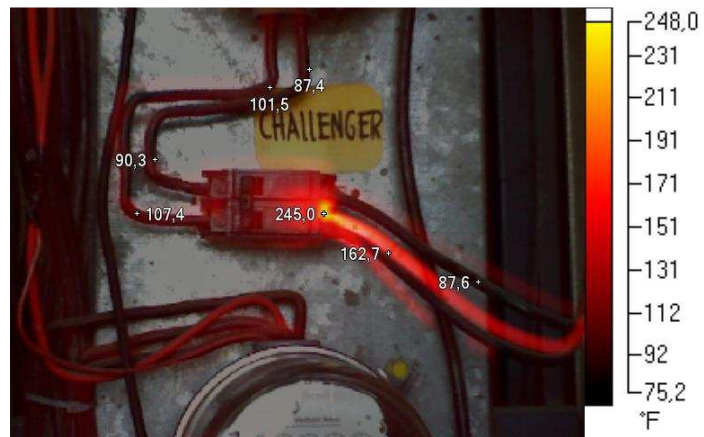
2. Al realizar las inspecciones termográficas es importante tener muy en cuenta la emisividad del objeto que se va a verificar.

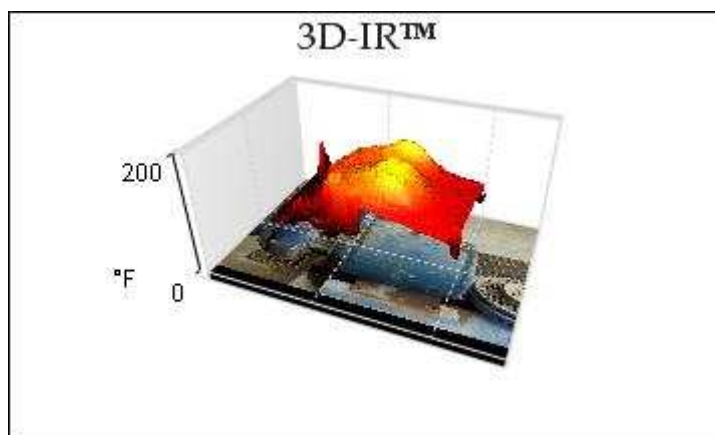
3. Considerar la condiciones ambientales durante el tiempo que se este realizando la captura de las imágenes termográficas.
  
4. recuerde siempre cumplir con las normas de seguridad, del lugar y del equipo para evitar accidentes del operario de la cámara, como de los equipos inspeccionados.
  
5. Para evitar que se produzcan daños en el procesador de imágenes, no deje la cámara expuesta a una fuente de calor o a ambientes con altas temperaturas, como un vehículo estacionado al sol.

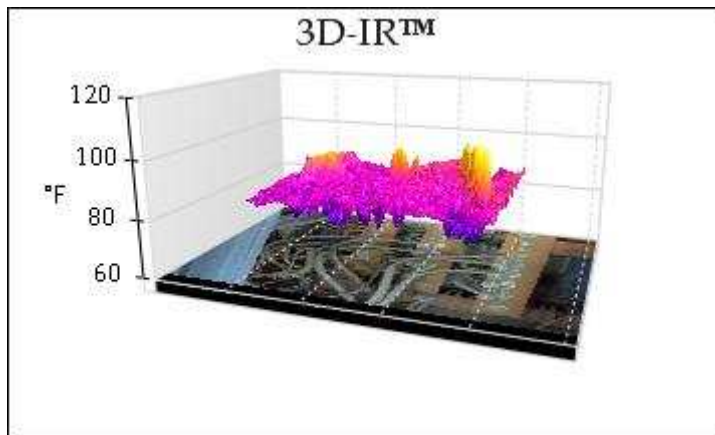
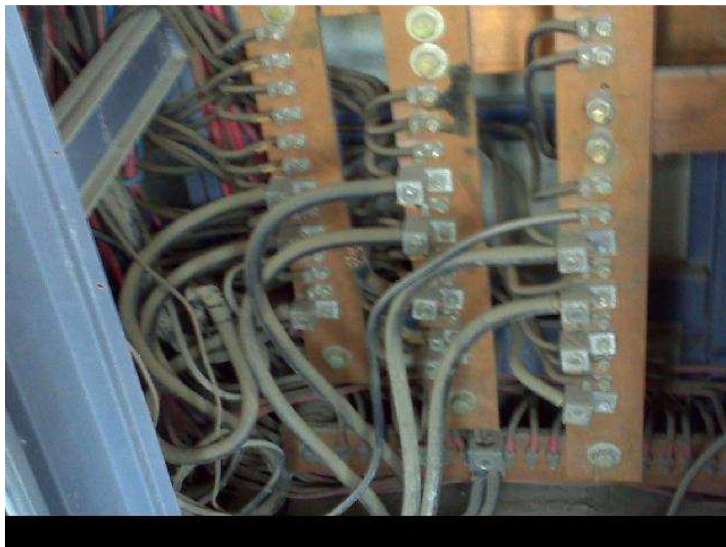
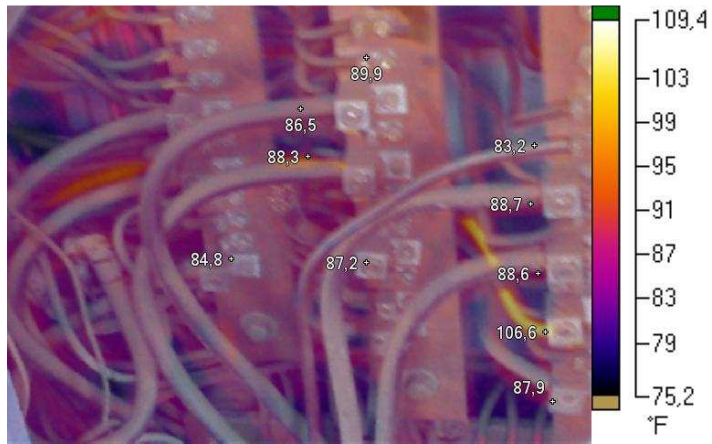
## ANEXOS

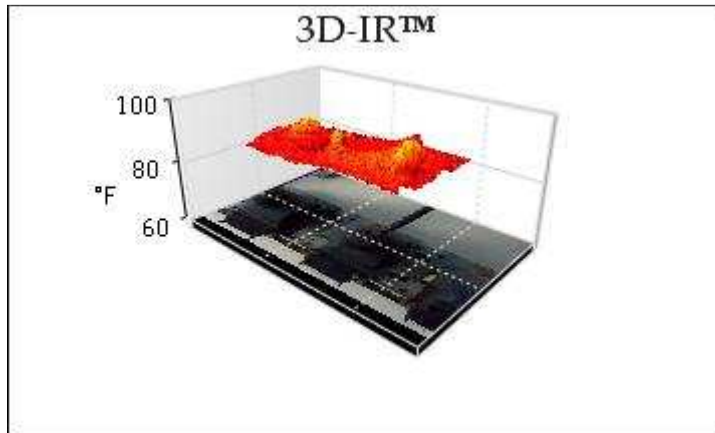
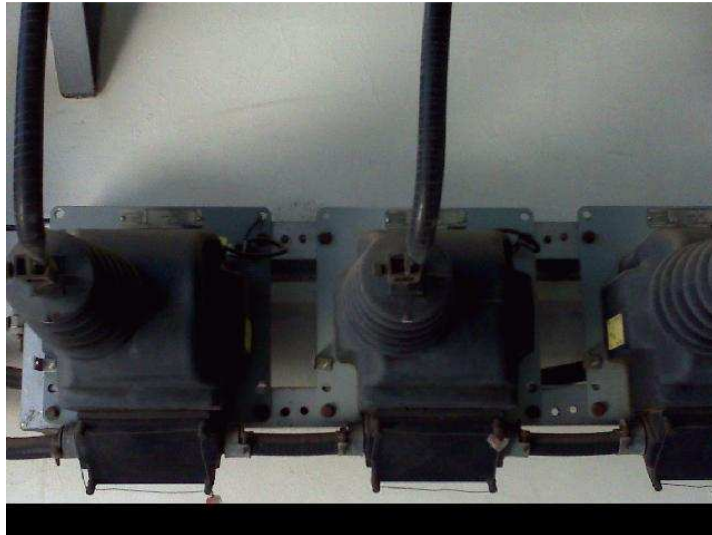
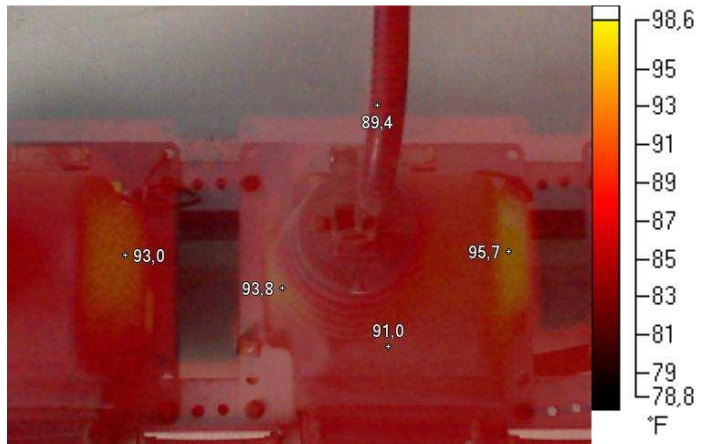
### IMÁGENES TERMOGRÁFICAS Y VISIBLES TOMADAS CON LA CÁMARA FLUKE TI-10



















## TABLAS DE EMISIVIDAD

0.98 = Superficie de carbón
0.98 = Cristales helados
0.98 = Piel humana
0.97 = Pizarra
0.96 = Agua destilada
0.96 = Hielo pulido
0.95 = Aceite saturado con agua
0.95 = hollín de la vela
0.94 = Luna pulida
0.94 = Pintura, aceite
0.93 = Ladrillo rojo
0.93 = Papel adhesivo blanco
0.92 = Hormigón
0.92 = Suelo seco
0.91 = Capa de yeso basto
0.90 = Madera de roble
0.90 = Gres cristalino
0.89 = Nieve, granizo
0.88 = Silice cristalina
0.87 = Oxido cuproso a 38°
0.86 = Corindón esmeril
0.85 = Nieve
0.85 = Inoxidable oxidado a 800°C
0.84 = Hierro oxidado a 500°C
0.83 = Oxido cuproso a 260°C
0.82 = Nieve, partículas finas
0.81 = latón, sin oxido
0.80 = Cristal, convexo D

0.79 = Acero oxidado  
0.78 = Cobre con gran oxidación  
0.77 = Paño de algodón  
0.76 = Arena  
0.75 = Sílice no cristalina  
0.74 = Hierro oxidado a 100°C  
0.73 = Cubierta No. C20A  
0.72 = Basalto  
0.71 = Carbón grafitizado a 500°C  
0.70 = Óxido rojo  
0.69 = hoja de hierro gravemente oxidado  
0.67 = Agua  
0.66 = Arcilla negra  
0.65 = Cemento blanco  
0.64 = Hierro fundido oxidado  
0.63 = Plomo oxidado a 1100°F  
0.62 = Circonia sobre inconel  
0.61 = Cu-Zn, latón oxidado  
0.58 = Hoja de inconel a 760°C  
0.56 = Marmol blanco  
0.55 = Acido crómico anodizado  
0.21 = Hierro fundido pulido  
0.20 = Latón 80 grit arenisca esméril  
0.16 = Acero inoxidable 18-8  
0.09 = Aluminio  
0.07 = Acero pulido  
0.05 = Hoja de aluminio pulida  
0.05 = Cobre pulido  
0.03 = Latón pulido

## **BIBLIOGRAFIA**

Gonzáles Fernández. Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. (2<sup>da</sup> edición)

Souris Jean-Paul. El mantenimiento, fuente de beneficios.

Pérez Diego, Lomes Barbosa. Termografía infrarroja. Aplicación al mantenimiento de instalaciones eléctricas.

Fernández Cabanas, García Melero, Alonso Orcajo, Cano Rodríguez, Solares Sariego. Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas.

Creado en cooperación con la corporación Fluke y el grupo Snell. Introducción a los principios termográficos.