

Procedimiento para inspección de tableros eléctricos con termografía infrarroja

SILVA-JUÁREZ Alejandro *†, SALAZAR-PEDRAZA, Miguel de Jesús, PONCE-MELLADO, Juan Jorge, HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo

Universidad Tecnológica de Puebla

Recibido Enero 09, 2017; Aceptado Junio 14, 2017

Resumen

Mantenimiento Predictivo es conocer el estado general de una máquina cuando está en función mediante el uso de tecnologías, las más utilizadas son: análisis de vibraciones, ultrasonido y termografía infrarroja. Esta última se emplea en la inspección de sistemas eléctricos ya que pueden indicar el estado de funcionamiento de estos equipos. Respecto a los trabajos de supervisión y mantenimiento la termografía ofrece mayor seguridad ya que nos permite medir temperaturas a distancia, conservando exactitud y sin tener contacto físico con los objetos a estudiar. Por lo anterior se presenta un procedimiento para realizar la inspección de tableros eléctricos. Se explica a detalle la configuración de los parámetros de medición, esto comprende la determinación de: el grado de emisividad de los cuerpos, la temperatura reflejada, distancia de medición, humedad relativa, temperatura atmosférica y compensación de ventana. Para realizar las pruebas se ha empleado una cámara de infrarrojos de la serie E de FLIR. Por último, se muestran las características para generar reportes de termografía, se utilizó FLIR TOOLS, software propio de la cámara. La principal contribución es mostrar el procedimiento en base a la norma ISO 18434-1:2008, Condición de vigilancia y diagnóstico de máquinas-termografía, Parte 1: Procedimientos generales.

Termografía Infrarroja, Mantenimiento Predictivo, Grado de Emisividad

Abstract

Predictive Maintenance is to know the general state of a machine when it is in function by the use of technologies, the most used are: vibration analysis, ultrasound and infrared thermography. The latter is used in the inspection of electrical systems as they can indicate the state of operation of this equipment. Regarding the work of supervision and maintenance thermography offers greater security since it allows us to measure temperatures at a distance, retaining accuracy and without having physical contact with the objects to be studied. Due to the above, a procedure for the inspection of electrical boards is presented. The configuration of the measurement parameters is explained in detail, this includes the determination of: the degree of emissivity of the bodies, the reflected temperature, measurement distance, relative humidity, atmospheric temperature and window compensation. A FLIR E-series infrared camera has been used for the tests. Finally, the characteristics to generate thermography reports are shown, using FLIR TOOLS, own camera software. The main contribution is to show the procedure based on ISO 18434-1: 2008, Condition of monitoring and diagnosis of machine-thermography, Part 1: General procedures

Infrared Thermography, Predictive Maintenance, Emissivity Degree

Citación: SILVA-JUÁREZ Alejandro, SALAZAR-PEDRAZA, Miguel de Jesús, PONCE-MELLADO, Juan Jorge, HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo. Procedimiento para inspección de tableros eléctricos con termografía infrarroja. Revista de Tecnología e Innovación. 2017, 4-11:24-35.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: alejandro.silva@utpuebla.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En cuanto a las tecnologías aplicables al mantenimiento predictivo, la inspección de tableros eléctricos con termografía infrarroja es la técnica ideal utilizada por técnicos, ingenieros y profesionales del mantenimiento, ya que esta técnica hace posible determinar gran cantidad de fallas en una extensa gama de maquinaria a un costo inicial razonable.

La termografía infrarroja en mantenimiento predictivo (FLIR Systems, 2011), es relativamente nueva en la industria, por las ventajas ofrecidas, ha ganado importancia en los programas de mantenimiento de forma creciente, esta tecnología demanda personal calificado que realice inspecciones de manera acertada, es por esto, que en la Universidad Tecnológica de Puebla se desarrolló un manual técnico donde se describe el procedimiento de configuración de una cámara termográfica de la firma FLIR.

La termografía infrarroja

La termografía infrarroja es una técnica no destructiva y sin contacto, está basada en la radiación infrarroja que los cuerpos emiten o reflejan, todo cuerpo que tenga una temperatura por encima del cero absoluto (0°K), irradia luz infrarroja, esta energía se emite en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz de forma de radiación o por cualquier otro medio de conducción y está en relación directa con su temperatura, es decir cuánto más caliente está el objeto, mayor cantidad de radiación infrarroja emite y menor longitud de onda menor temperatura (Franck P. Incropera, 1999). En general, la emisión se hace en longitudes onda mayor a las que el ojo humano es capaz de percibir.

Por medio de esta técnica se puede obtener una imagen térmica llamada termograma, en la cual se obtiene la distribución térmica de todos los componentes de un sistema y establece la temperatura presente en cada punto de la superficie del objeto, ya sea, estacionario o en movimiento de forma instantánea y a una distancia segura, lo cual es de gran importancia cuando existen altas temperaturas, gases venenosos, corriente eléctrica, entre otras situaciones, que son de alto riesgo en el sitio donde se realiza la medición. Otra cualidad de esta técnica, es que las inspecciones pueden realizarse sin pérdida o reducción de la productividad porque se realizan en pleno funcionamiento del sistema. La aplicación de la técnica de termografía infrarroja se puede aplicar mediante dos diferentes métodos, técnica activa y la técnica pasiva.

Técnica activa

La termografía activa necesita de una estimulación externa (fuente de radiación infrarroja externa) que incida en el objeto de estudio y que produzca en él un flujo de calor, estas estimulaciones sirven como perturbaciones de flujo de calor sobre la superficie del objeto, de manera que, un defecto interno puede alterar ese flujo, provocando una distribución anómala de la temperatura, generando patrones de temperatura en la superficie, los cuales se pueden medir y estudiar para establecer el estado del objeto.

Técnica pasiva

La termografía pasiva no necesita de una estimulación externa para inspeccionar un objeto, el propio objeto a estudiar por su funcionamiento, o por la interacción con su entorno, genera o elimina calor, produciendo patrones de temperatura que se pueden medir, de esta manera un defecto se podría determinar con una distribución anormal de temperaturas.

Termograma

Es una imagen térmica, producto de la captura de emisiones naturales de radiación, por medio de un equipo que integra una combinación de, sistemas de video, termómetros ópticos por radiación infrarroja y complejos algoritmos; en esta imagen térmica se puede observar la diferenciación de colores del cuerpo estudiado, con el fin de determinar y leer en forma precisa las temperaturas de la imagen.

La norma ISO 18434-1 define un termograma como: mapa térmico o imagen de un blanco donde los tonos grises o tonalidades de color representan la distribución de infrarrojos energía térmica radiante sobre la superficie del blanco.

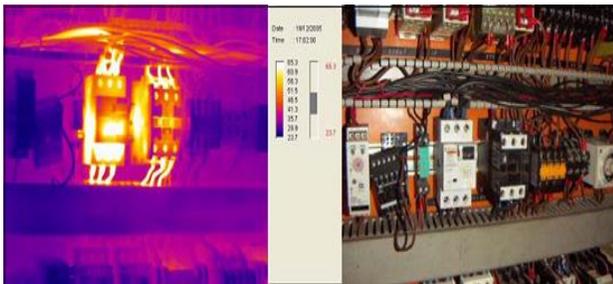


Figura 1 Termograma de dispositivo de protección sobrecargado

Características de los sistemas termográficos

Los sistemas de termografía cuentan con una serie de características tecnológicas que varían de acuerdo a la aplicación, (Fillit, C. Estour, B, Fillit. & R, 2007), estas características determinan la calidad de la información que se obtiene para su posterior interpretación. Las características más importantes son:

- Alta resolución en temperaturas: tan fina como 0.1°C.
- Amplia resolución espacial: se pueden 8.

- Medición en un amplio rango de temperaturas: -20°C hasta 2500°C.
- Seguridad y velocidad en las inspecciones.
- Exactitud para localizar problemas.
- Software para el análisis de termogramas.

Cámara termográfica

Una cámara termográfica (ver Figura 2), es un equipo complejo que tiene como función medir la emisión natural de radiación infrarroja de un objeto, determinar su temperatura y generar una imagen térmica, realizando un procesamiento digital de las señales sensadas.



Figura 2 Cámara termográfica FLIR E60

Clasificación de cámaras termográficas

Según su respuesta espectral

Esta clasificación se realiza estableciendo las longitudes de onda que la cámara termográfica puede captar, ver tabla 1.

Onda Corta	0.8 μm a 2.5 μm
Onda Media	2.5 μm a 5.5 μm
Onda Larga	7.5 μm a 14 μm

Tabla 1 Respuesta espectral cámaras termográficas

Según el tipo de detector

Esta clasificación de las cámaras termográficas está basada en las características del detector que utilizan.

Cámaras infrarrojas con detectores criogenizados

Los detectores están contenidos en un estuche sellado al vacío y enfriado muchos grados Celsius bajo cero por un voluminoso y costoso equipo criogénico. Esto aumenta enormemente su sensibilidad con respecto a los detectores al ambiente, debido a su gran diferencia de temperatura con respecto al cuerpo emisor detectado. Si el detector no fuese enfriado criogénicamente, la temperatura ambiental interferiría las lecturas de temperatura recibidas por el detector.

Aun así el uso de detectores criogenizados presenta unas desventajas como son:

- Su alto consumo de energía para enfriar.
- El alto costo para fabricar y sellar al vacío los estuches.
- Varios minutos para enfriar el sensor del detector a la temperatura óptima de operación.

Cámaras infrarrojas con detectores al ambiente

Utilizan sensores que operan a temperatura ambiente o que están estabilizados mediante pequeños elementos de control a una temperatura cercana a la temperatura ambiente; los detectores más modernos usan sensores que funcionan cambiando sus propiedades eléctricas cuando se calientan por la radiación infrarroja. Estos cambios son medidos y comparados a los valores de temperatura de operación del sensor.

Los sensores pueden estabilizarse a una temperatura de operación para reducir las interferencias de percepción de imagen, y es por eso que no requiere equipos de enfriamiento. Los detectores al ambiente están hechos en su mayoría a base de materiales ferroeléctricos y piroeléctricos o tecnología del microbolómetro.

Según la técnica de termografía utilizada

Las cámaras termográficas también se pueden clasificar de acuerdo a la utilización o no de un estímulo infrarrojo en el objeto a estudiar. Cámaras infrarrojas activas: Su funcionamiento se basa en la estimulación de la respuesta térmica del objeto a estudiar, un elemento auxiliar emite radiación infrarroja con un reflector (integrado a la cámara o ubicado en otro sitio); este haz infrarrojo ilumina el objeto a estudiar (o a detectar), para que pueda ser percibido por la cámara e interpretado en una imagen monocromática.

El reflector tiene un filtro para prevenir que la cámara sea interferida por la luz visible. Así, si el reflector tiene mayor alcance mayor será el tamaño, el peso de su filtro y el tamaño de la batería, porque aumenta su consumo de energía. Por eso la mayoría de las cámaras activas portátiles tienen un reflector con alcance de 100 metros, pero algunos fabricantes llevan el alcance de las cámaras hasta varios cientos de metros para mejorar su desempeño.

Cámaras infrarrojas pasivas: este tipo cámaras termográficas carecen de reflectores, y perciben la radiación infrarroja tal cual como es emitida por un cuerpo. No detectan cuerpos a la misma temperatura del detector, por lo cual suelen enfriarse criogénicamente. Algunas de estas cámaras pueden tener sensibilidad a temperaturas de 0,01 °C, y se utilizan para rastrear personas en áreas de visibilidad reducida (tinieblas, humo o niebla).

Para encontrar rastros recientes de alguien que ha dejado un lugar, seguir un automóvil, ver rastros de humedad en ciertas superficies, etc. A continuación se nombran algunas de sus características.

- Alta Resolución de temperaturas, consecuentemente termogramas muy contrastados.
- Fácil manejo, con el software integrado
- Escala de temperatura lineal
- Visualización rápida de una imagen.
- Posibilidad de controlar la cámara a largas distancias vía Ethernet.
- Portátil y operación independiente con acumulador de Li-ION intercambiable

¿Cómo funciona una cámara termográfica?

Cuando se hace una inspección termográfica y se pone la cámara delante del objeto a estudiar, ésta absorbe energía infrarroja que luego es procesada con el fin de obtener una imagen térmica donde se pueda leer la temperatura real.

La lectura de temperatura que se observa en la pantalla de la cámara se calcula teniendo en cuenta una serie de parámetros que están presentes en el ambiente donde se realiza la inspección termográfica.

Desarrollo

La inspección termográfica es un análisis instrumental para definir y precisar las condiciones específicas de un equipo y sus partes, a través del comportamiento de las temperaturas de operación. Esta es una prueba no destructiva que mediante la implementación de un programa mensual, trimestral, semestral o anual de inspecciones, minimiza la probabilidad de fallas.

El informe resultante de una inspección termográfica incluye la descripción de los equipos o elementos que están operando en condiciones anormales de temperatura, una imagen digital y térmica de su ubicación, en la que se incluye el cuadro de temperaturas de referencia, la clasificación del tipo de falla si aplica, las recomendaciones a seguir para eliminarla, y adicionalmente si se tiene el historial se entregarían las curvas de tendencia.

Un programa de inspección termográfica tiene por objetivo reducir el riesgo de paradas no programadas, aumentar la productividad, mejorar la seguridad, clasificar y definir tendencias de los historiales sobrecalentamientos en equipos críticos (Infrared Training Center, 2009).

Usualmente una falla tiene un tiempo de deterioro lento, debido a esfuerzos a los que es sometido el material y a las curvas de carga no uniformes que se deben llevar a cabo en un proceso. Esto permite clasificar e identificar los componentes deficientes, por medio de una comparación de las temperaturas de operación del equipo, frente a la temperatura del medio ambiente o de un equipo similar en las mismas condiciones de trabajo.

Los sistemas candidatos para una inspección termográfica son los sistemas eléctricos, mecánicos, electrónicos y térmicos (Infraspection Institute, 2008). Para realizar una inspección termográfica exitosa, es necesario seguir una metodología de manera general.

Procedimiento para la toma de termogramas en un tablero eléctrico

Paso 1 Descubrir el tablero eléctrico

Para efectuar un termograma en un tablero eléctrico, se debe, como primer paso, retirar cualquier tapa o protección ajena al circuito eléctrico, cuidando que todo el circuito del tablero eléctrico esté libre de cualquier protección, esto es para mejorar la toma de lecturas con la cámara termográfica, ver figura 3.



Figura 3 Apertura del tablero eléctrico

Paso 2 Calibración de la cámara termográfica

Como segundo paso, es el ajuste de los parámetros de medición de la cámara termográfica a utilizar. En este caso, se utilizó una cámara termográfica de la firma FLIR, para lograr el objetivo de la calibración se seguirá los siguientes pasos:

Nos dirigimos a ajustes, posteriormente a parámetros de medición y en esta sección encontraremos los parámetros a ajustar, ver Figura 4.

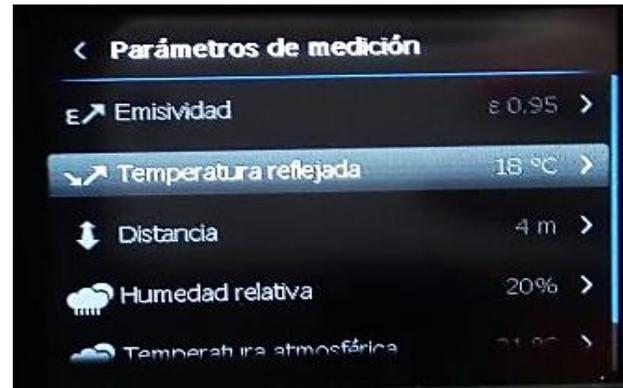


Figura 4 Parámetros de medición

Paso A Ajuste del coeficiente de Emisividad

El primer parámetro a ajustar es el coeficiente de Emisividad. Para poder ajustarlo nos dirigimos a la sección de parámetros de medición, ver Figura 5, (Fenercom, 2011). Para elegir el coeficiente de emisividad realizaremos los siguientes pasos.

- 1 Colocar una tira de cinta de aislar de 3 cm, sobre la superficie de cuerpo a medir, ver Figura 7.
- 2 Se recomienda que el coeficiente de emisividad inicial tenga un valor 1.
- 3 Tomar dos termogramas con la cámara termográfica del cuerpo a medir, la primera lectura se efectuará con la cinta de aislar ya colocada previamente, posteriormente se tomara la segunda lectura, en este caso se efectuara en una parte del cuerpo sin cinta de aislar. En cada lectura realizada se registrará la temperatura mostrada en cada termograma.
- 4 Comparar las temperaturas de las dos lecturas tomadas, si estas dos tienen el mismo valor, el coeficiente de emisividad es el adecuado, en el caso contrario, se deberá cambiar el coeficiente de emisividad y repetir el paso 3 hasta que las temperaturas tengan el mismo valor.

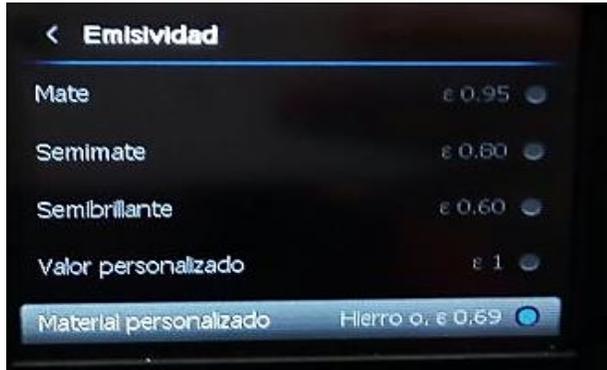


Figura 5 Ajuste de emisividad

Paso B. Temperatura reflejada

El segundo parámetro es la temperatura reflejada, ver Figura 6, (Fenercom, 2011). Para poder ajustar este parámetro utilizaremos los siguientes pasos.

- 1 Colocar un trozo de papel aluminio de 3 cm^2 sobre la superficie del cuerpo, procurando que la cara brillante del papel este adherida a la superficie, ver Figura 7.
- 2 La temperatura reflejada inicial que se recomienda es la del medio en el que se encuentra el cuerpo a medir.
- 3 Tomar dos termogramas con la cámara termográfica del cuerpo a medir, la primera lectura se efectuará con el papel aluminio ya colocada previamente, posteriormente se tomará la segunda lectura, en este caso se efectuará en una parte del cuerpo sin el papel aluminio. En cada lectura realizada se registrará la temperatura mostrada en cada termograma.
- 4 Comparar las temperaturas de las dos lecturas tomadas, si estas dos tienen el mismo valor, la temperatura reflejada es la adecuada, en el caso contrario, se deberá cambiar la temperatura reflejada y repetir el paso 3 hasta que las temperaturas tengan el mismo valor.

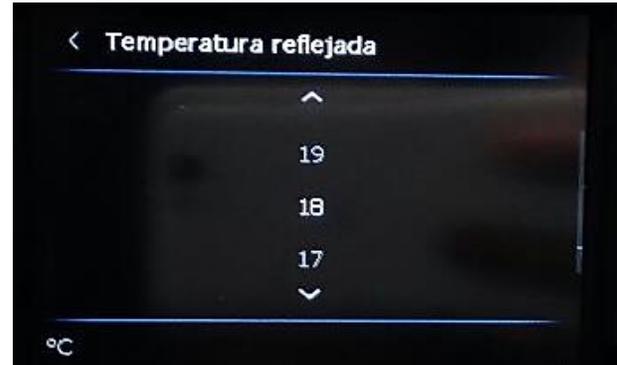


Figura 6 Ajuste de temperatura reflejada

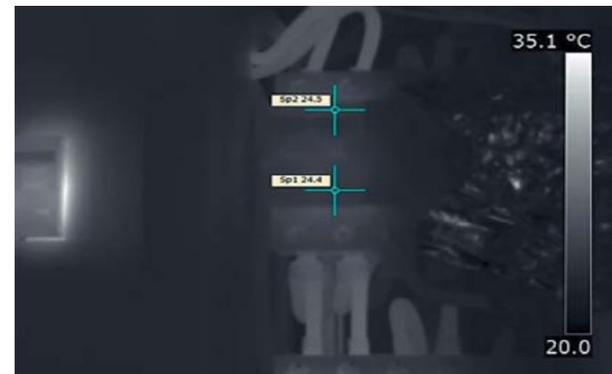


Figura 7 Imagen infrarroja con cinta negra y papel aluminio

Paso C. Distancia al objeto

La distancia seleccionada será la longitud entre la cámara termográfica y el cuerpo a medir, ver Figura 8.

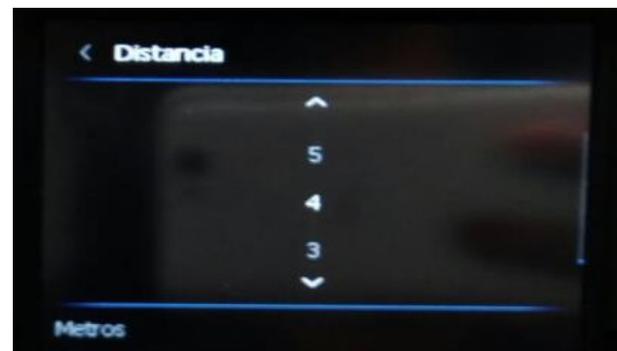


Figura 8 Ajuste de distancia

Paso D. Humedad relativa y Temperatura atmosférica

Esta será la del medio en el que se encuentra el cuerpo a medir. Para este parámetro se puede utilizar la del medio ambiente, ver Figura 9 y 10.

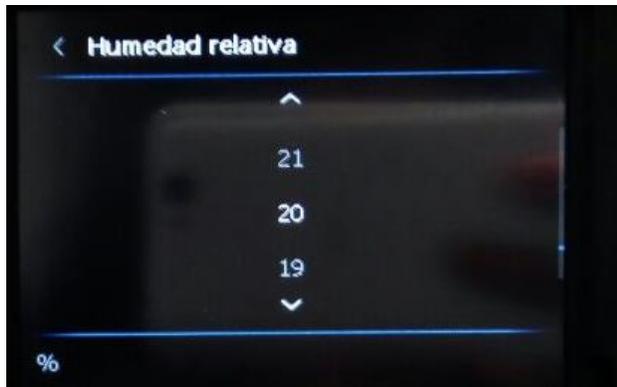


Figura 9 Ajuste de humedad relativa

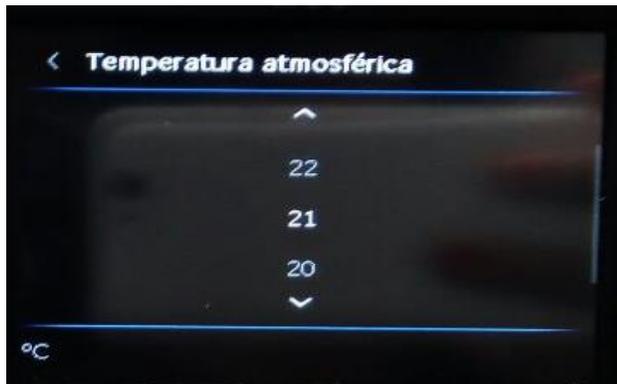


Figura 10 Ajuste de temperatura atmosférica

Paso E. Compensación de ventana

Para este parámetro se deberá tomar la temperatura del medio ambiente, en caso de que en la superficie haya un reflejo, se deberá ajustar la temperatura agregando la temperatura del cuerpo reflejado, Ver figura 11.

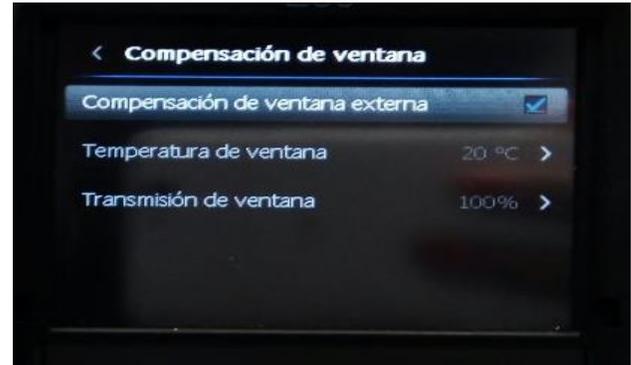


Figura 11 Ajuste de compensación de ventana

En cualquier caso, si no se está seguro de los valores de los parámetros de la cámara termográfica, los siguientes pueden ser recomendables y suelen aparecer por defecto en algunas cámaras, Ver tabla 2 (Fenercom, 2011).

Emisividad	0.95
Temperatura reflejada	+20 °C
Distancia	1 metro
Humedad relativa	50%
Temperatura atmosférica	+20 °C
Temperatura de ventana	+20 °C

Tabla 2 Valores recomendados para la cámara termográfica

Informe de prueba

El reporte de la inspección realizada con la cámara termográfica deberá proporcionar informes para todas las inspecciones por infrarrojos. A menos que se acuerde lo contrario con el cliente, el informe deberá contener, pero no limitarse a, la siguiente información de acuerdo con la norma ISO 18434-1:

- El nombre de cada termógrafo.
- La calificación de cada termógrafo.
- El nombre y la dirección del cliente.
- El nombre de cada asistente que acompañe al termógrafo infrarrojo durante la inspección, si corresponde.

- e. El fabricante, el modelo y la fecha de calibración del equipo de infrarrojos utilizado.
- f. Una lista de todos los equipos a inspeccionar y anotaciones del equipo de la lista que no fue inspeccionado.
- g. Detalles de todas las anomalías térmicas detectadas.
- h. Detalles de las condiciones de funcionamiento y medio ambiente de cada máquina en el momento de la inspección.
- i. Fecha (s) y hora (s) de la (s) inspección (es).
- j. Fecha en que se preparó el informe.
- k. Al realizar una inspección cualitativa por infrarrojos, el termógrafo debe proporcionar la siguiente información para cada anomalía identificada:
 - l. La ubicación exacta de cada anomalía.
 - m. Una descripción de cada anomalía.
 - n. Detalles de cualquier medio atenuante.
 - o. Cuando sea significativo, las condiciones ambientales que rodean la anomalía; p.ej. la temperatura del aire, la velocidad del viento, la dirección del viento y las condiciones climáticas.
 - p. Copias impresas del (de los) termograma (s) de la (s) anomalía (s) y la correspondiente imagen (es) de luz visible.
 - q. Detalles de cualquier ventana, filtro u óptica externa utilizada.
 - r. Una calificación de evaluación o una declaración de la importancia de la anomalía para el funcionamiento seguro y continuo del sistema.
 - s. Referencia o declaración de los criterios de evaluación utilizados.
 - t. Cualquier otra información o condiciones especiales que puedan afectar los resultados, repetitividad o interpretación de la anomalía. Al realizar una inspección cuantitativa por infrarrojos, el termógrafo debe proporcionar la siguiente información adicional.
 - u. La distancia desde la cámara IRT a la anomalía.
 - v. Siempre que sea posible, la carga nominal máxima del artículo y su carga medida en el momento de la inspección.
 - w. La emisividad, la temperatura aparente reflejada y los valores de transmisión utilizados para calcular las temperaturas.
 - x. Cuando se utilizan los criterios ΔT , la temperatura superficial del elemento, la temperatura de una referencia definida y su diferencia de temperatura relativa. Además del contenido técnico anterior, el informe también debe contener una notación de las condiciones o prácticas inseguras observadas y las acciones emprendidas.

Software para Análisis de Termogramas

Existen múltiples softwares para el análisis de imágenes térmicas, estos dependen de la cámara y del fabricante, lo que también marca las diferencias que existen entre ellos.

El software tiene como función ayudar al termógrafo a realizar el análisis e interpretación de la información obtenida en los termogramas y a generar los informes sobre la inspección termográfica realizada (FLIR Systems, 2011).

Un software de análisis de termogramas debe tener la posibilidad de medir temperaturas en puntos, áreas, en línea recta, determinar isoterms, cambiar paletas de colores, realizar histogramas para mirar tendencias, y generar informes con toda la información relevante encontrada en la imagen térmica.

El Software FLIR Quick Report desarrollado por la empresa FLIR Systems es utilizado para el análisis de termogramas y la generación de informes de inspección, sus principales características son: de fácil manejo, permite capturar y almacenar imágenes infrarrojas JPEG estándar, cambiar el tamaño y el ajuste de PIP (Fusión de imagen en imagen, muestra la termografía superpuesta sobre una imagen digital) y permite crear informes de inspección. Además, es compatible con Microsoft Windows®. A continuación, se mencionan algunas características de este software:

Maneja imágenes térmicas y digitales, ver Figura 12.

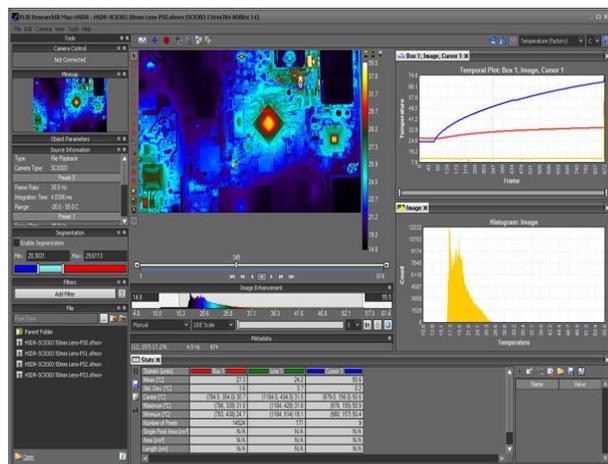


Figura 12 Interfaz del software FLIR

Este software cuenta con una serie de herramientas útiles a la hora de realizar el análisis, la Figura 11 muestra una imagen de la interfaz donde se realiza el análisis de los termogramas, a continuación, se mencionan algunas de las tareas que se pueden realizar a las imágenes térmicas.

- Descripción de la imagen en un cuadro de texto, puede editarse o realizarse una nueva descripción.

- Editar parámetros de compensación.
- Tabla de resultados.
- Medir temperaturas en puntos, áreas, líneas.
- Crear isotermas.
- Cambiar la paleta de colores en una imagen.
- Auto ajuste.
- Zoom.
- Escuchar comentarios de voz asociados a la imagen.
- Exportar a Excel el valor de temperatura de cada pixel.

Se pueden crear informes de inspección que incluyen uno o más imágenes de infrarrojos y fotos digitales, los cuales se almacenan en formato PDF. La Figura 13 muestra un informe realizado en el software FLIR Quick Report.

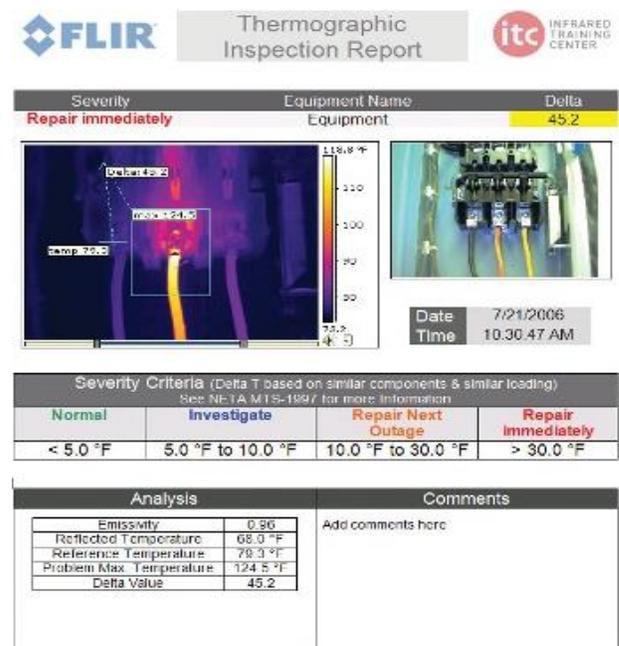


Figura 13 Informe termográfico con el software FLIR

Pruebas de campo

En la empresa INDUSTRIAS COBITEL S.A. de C.V. Se realizó una inspección a un tablero eléctrico de media tensión, ver Figura 14. Otra prueba en campo fue realizada en la empresa KAYSER automative Systems S.A. de C.V. en ella se efectuó un análisis termográfico a pistolas de calentamiento BOSCH. En ambos casos se utilizó una cámara termográfica de la firma FLIR Systems, la cual está diseñada para tomar termogramas de diferentes cuerpos, como; tableros eléctricos, motores eléctricos, calderas, rodamientos, entre otros.

En INDUSTRIAS COBITEL S.A. de C.V. una vez realizado la toma de los termogramas pertinentes, se encontró una falla en los 2 interruptores termomagnéticos.



Figura 14 Tablero eléctrico de la empresa INDUSTRIAS COBITEL S.A. de C.V

Conclusiones

Con base en el desarrollo y los resultados obtenidos se presentan las siguientes conclusiones, así como algunas de las futuras líneas de investigación y proyecciones alrededor de este trabajo.

1. La adquisición de un producto de termografía roja conlleva a una inversión alta, pero, en un futuro posterior ofrecerá una remuneración al reducir fallas imprevistas o imposibles de detectar con un equipo ordinario de mantenimiento, ya que, la termografía infrarroja es una técnica predictiva de nueva generación, lo que permite tener nuevas y más eficientes formas de analizar los equipos.
2. Los análisis que se efectúan con una cámara termográfica es un 80% más rápido, precisas y eficientes, que al realizarlos con otro equipo de mantenimiento no predictivo.

Proyecciones

Con este proyecto, la Universidad Tecnológica de Puebla podrá ofrecer servicios de Termografía Infrarroja como parte del mantenimiento predictivo a empresas del ramo industrial como: papeleras, siderúrgicas, cementeras, ingenios azucareros, automotrices a un costo mucho menor en comparación a los que se ofrecen en el mercado nacional e internacional.

Referencias

- Adams, A, Nelson R, Bell D. & Egoavil, C (2000). Use of Infrared Thermographic Calorimetry to Determine energy Expenditure in Preterm Infants. *Journal for Clinical Nutrition*, 71(4), 969- 977.
- Fillit, C, Estour, B, Fillit. & R. (2007). Quantitative Thermography Studies of Body Surface Temperature for Medical Diagnosis Linked to Chronic Disease. *Proceedings InfraMation 2007*.
- Franck P. Incropera, D. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. México: Prentice Hall.
- SILVA-JUÁREZ Alejandro, SALAZAR-PEDRAZA, Miguel de Jesús, PONCE-MELLADO, Juan Jorge, HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo. Procedimiento para inspección de tableros eléctricos con termografía infrarroja. *Revista de Tecnología e Innovación 2017*.

Fenercom. (2011). Guía de la termografía infrarroja, Aplicaciones en ahorro y eficiencia energética . *Madrid Ahorra con Energía* , 189.

FLIR, Systems. (2011). Guía de termografía para el mantenimiento predictivo . *FLYR* , 45.

FLIR, Systems. (2011). Guía sobre termografía para aplicaciones y energía renovable. *FLIR*, 68.

Infrared Training Center. Course Manual Thermography Basics, 2009.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 18434-1 Condition monitoring and diagnostics of Machines — Thermography.

Infraspection Institute. Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment, 2008.