

**ESTADO DEL ARTE DE LA TERMOGRAFIA INFRARROJA COMO
HERRAMIENTA EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES**



Luis Mariano Serrano Malagón

Aury Margarita Núñez Campo

Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de ingeniería y Administración
Facultad de Ingeniería Electrónica
Bucaramanga
2011

**ESTADO DEL ARTE DE LA TERMOGRAFIA INFRARROJA COMO
HERRAMIENTA EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES**



Luis Mariano Serrano Malagón

Aury Margarita Núñez Campo

Proyecto de grado para optar por el título de:
Especialista en Control e Instrumentación Industrial

Director del proyecto:
Raquel Díaz Ramírez
Esp. Control e Instrumentación Industrial

Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de ingeniería y Administración
Facultad de Ingeniería Electrónica
Bucaramanga

2011

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, Agosto de 2011

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, nuestra gratitud absoluta es para nuestro Dios, Padre y creador, quien nos dio la vida, la salud, las fuerzas y la sabiduría para concluir nuestros estudios, en segundo lugar, a nuestros padres, como agradecimiento a su esfuerzo, amor y apoyo incondicional, durante nuestra formación tanto personal como profesional.

Nuestro más sincero agradecimiento a la Ingeniera Raquel Díaz por su guía y apoyo en la realización de este proyecto.

Finalizamos reconociendo que nada logramos solos, siempre Dios y las personas que nos aman contribuyen a su manera para que seamos mejores.

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN

1. INTRODUCCION.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3. Historia de la termografía infrarroja.....	3
4. Principio de funcionamiento de la termografía infrarroja.....	7
4.1 Principio físico de la termografía infrarroja.....	7
4.2 Distribución de la energía.....	8
4.3 Concepto de emisividad.....	9
5. La Termografía infrarroja.....	12
5.1 Concepto industrial.....	13
5.2 Cámara termográfica una herramienta de inspección.....	14
6. Aplicaciones de la termografía infrarroja.....	18
6.1 Aplicaciones a nivel industrial.....	26
6.2 Aplicaciones de la termografía infrarroja en Colombia.....	31
6.2.1 Investigación académica.....	31
6.2.2 Implementación industrial.....	33
7. Normatividad que rige a la termografía infrarroja.....	36
8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA...	42

8.1 Ventajas.....	42
8.2 Desventajas.....	43
9. TENDENCIAS Y FUTURO DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA.....	44
10. CONCLUSIONES.....	46
11. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
12. BIBLIOGRAFIA.....	49
13. ANEXOS.....	51
13.1 ANEXO A.....	52
13.2 ANEXO B.....	56
13.3 ANEXO C.....	63
13.4 ANEXO D.....	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro electromagnético.....	8
Figura 2. Energía Infrarroja y Distribución en el espectro electromagnético.....	9
Figura 3. La energía Infrarroja reflejada en una superficie.....	10
Figura 4. Vista de la Termografía Infrarroja.....	12
Figura 5. Imágenes termográficas.....	13
Figura 6. Termografía infrarroja en acción.....	14
Figura 7. Cámaras infrarrojas.....	15
Figura 8. Inspección por termografía infrarroja.....	16
Figura 9. Cámaras de última generación.....	16
Figura 10. Funcionamiento de la cámara termográfica.....	17
Figura 11. Termografía de instalaciones eléctricas.....	19
Figura 12. Aplicaciones mecánicas.....	20
Figura 13. Imagen termográfica de panel solar.....	20
Figura 14. Torre de antenas.....	21
Figura 15. Imagen termográfica del capitolio.....	22
Figura 16. Imágenes fuerzas militares.....	23
Figura 17. La tierra - vista termográfica.....	23
Figura 18. Aplicaciones médicas.....	25
Figura 19. Aplicaciones veterinarias.....	26
Figura 20. Imágenes termográficas de aplicaciones industriales.....	28
Figura 21. Mantenimiento usando termografía infrarroja.....	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de emisividad.....	11
Tabla 2. Uso de termografía infrarroja en Colombia.....	34

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ESTADO DEL ARTE DE LA TERMOGRAFIA INFRARROJA COMO HERRAMIENTA EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

AUTOR(ES): Luis Mariano Serrano Malagón
Aury Margarita Nuñez Campo

FACULTAD: Esp. en Control e Instrumentación Industrial

DIRECTOR(A): Raquel Díaz Ramirez

RESUMEN

La energía térmica está presente en toda materia, el mundo está hecho de materia, por tal razón la temperatura, como medida de ésta energía térmica, influye en todo sistema ya sea natural o artificial. Los diferentes niveles de temperatura en un cuerpo que se esté monitoreando permiten verificar su correcto funcionamiento o detectar defectos o anomalías en el mismo. Por lo anterior, el hombre siempre ha estado interesado en la medición de la misma con el fin de obtener información de procesos, elementos, dispositivos, reacciones, entre otros; y así poder monitorear y controlar su comportamiento. La termografía infrarroja es una herramienta valiosa, versátil que provee medidas rápidas y sin contacto para monitorear la temperatura de un cuerpo sin alterar sus condiciones y propiedades, ya que consiste en una técnica de ensayos no destructivos. En esta monografía se documenta toda la información recopilada acerca del desarrollo, la evolución y tendencias de esta tecnología; se nombran sus campos de aplicación a nivel mundial y los beneficios que ha traído su implementación en especial para el sector industrial, especificando la normatividad que se debe tener en cuenta para utilizarla adecuadamente. Se buscó, además, conocer y documentar las áreas en Colombia donde se está implementando la tecnología, con el fin de concluir donde está posicionado nuestro país en el mundo con respecto al tema; y generar el interés en estudiantes de pregrado y postgrado para que incursionen en el desarrollo de proyectos e investigaciones donde se implemente esta tecnología en los diferentes sectores, en especial en el sector industrial.

PALABRAS

CLAVES:

Termografía infrarroja, emisividad, monitoreo, mantenimiento predictivo

ABSTRACT

TITLE: INFRARED THERMOGRAPHY AS A TOOL FOR INDUSTRIAL PROCESS: STATE OF THE ART

AUTOR(S): Luis Mariano Serrano Malagón
Aury Margarita Nuñez Campo

FACULTY: Especialization in Industrial Control e Instrumentation

DIRECTOR: Raquel Díaz Ramirez

ABSTRACT

The thermic energy is present in the whole universe, the world is made of from matter, causing the temperature, as a measure of such termic energy, to influence in all systems, no matter whether is natural or artificial. The different levels of temperature in a body that is being monitorized allows its behavior to be verified or to detect defects or anomalies on it. As far as it is concerned, the mankind has always been interested on its measurement for the sake of getting information regarding processes, elements, devices, reactions, among others; and by this means to be able of monitoring and control its behavior. The infrared thermography is a versatile and handfull tool, which contactless provide with fast measures for monitoring the temperature of a body without any disturbance on its conditions and properties; this because is a technique that consist of non destructive testings. All the gathered information about the develop, evolution and trends of this technology is documented in this monograph; its application fields and benefits that its implementation has brought, in particular for the industrial branch, are also specified with an insight on the norms to be taken into account for its correct utilization. Among the targets of this documents is also getting to know and document the areas in Colombia where this technology is being implemented, for the sake of concluding where our country is placed in the world with respect to the actual topic; and to stir interest in bachelor and graduate students for tackling the subject by developing projects and investigations where is implemented on the distinct branches, especially in the industrial sector.

KEYS WORDS:

Infrared thermography, monitor, emissivity, predictive maintenance

1. INTRODUCCION

Toda materia genera energía térmica, un gradiente de temperatura en determinada materia puede ser relacionado con defectos o anomalías en la misma, aquí radica la importancia de medir la temperatura que se presenta en fenómenos naturales, procesos industriales, laboratorios, en medicina, entre otros; ya que nos permite reconocer anomalías de acuerdo a las condiciones del tipo de materia involucrada.

En la vida se presentan circunstancias en las cuales no se recomienda o se hace imposible el uso de sensores de temperatura convencionales, los cuales requieren contacto con la superficie a la que se desea medir la temperatura. Situaciones que requieren medidas sin retraso y precisas, en las que es imposible el contacto físico ya que corresponden a zonas inaccesibles o el cuerpo a caracterizar puede ser afectado al ejercer contacto.

Para los casos anteriores es indispensable el uso de la termografía infrarroja, una de las técnicas de Ensayos No Destructivos (END), la cual opera sin alterar las condiciones, propiedades o la naturaleza de un proceso, siendo una característica de esta, el no requerir contacto con el objeto, no emite ninguna radiación que pueda ser dañina, ya que solo observa la radiación saliente que es siempre emitida por los cuerpos en forma natural, convirtiéndose este método de medición en una herramienta valiosa, versátil y sus campos de aplicación son tanto diversos, como numerosos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Revisar, analizar y sintetizar la evolución y desarrollo de la termografía infrarroja como herramienta en procesos industriales; su normativa aplicación y futuro.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar una documentación en la que se muestren los campos de aplicación de la termografía a nivel mundial, registrando el avance de la misma, además, los pros y contras de la implementación de esta tecnología.
- Especificar los campos de acción de la termografía en Colombia, sus aplicaciones y mejoras en cuanto a su implementación de acuerdo a al desarrollo en otros países.
- Identificar la normativa que rigen la aplicación de la termografía infrarroja a nivel industrial.

3. Historia de la termografía infrarroja

La inspección térmica basada en radiación infrarroja provee medidas rápidas, evaluaciones no destructivas, no invasivas, sin contacto y desde una única posición. Su principio básico es el control y estimación de diferencias de temperaturas en una superficie. A continuación se muestra una breve descripción de la evolución de la termografía infrarroja.

En el año 1800 el astrónomo y Músico Alemán Frederick William Herschel hizo el descubrimiento de la radiación infrarroja mientras realizaba un experimento en el que estudiaba las propiedades de las bandas que conforman el espectro el espectro de la luz solar. Herschel descompuso la luz solar con un prisma y midió la temperatura en cada uno de los colores resultantes de esta descomposición. Durante este procedimiento descubrió que existía una banda inmediatamente contigua a la banda roja del espectro y que aquí el termómetro marcaba la mayor temperatura, entonces concluyó que se trataba de una luz invisible al ojo humano. A esta radiación inicialmente se le llamó rayos caloríficos y luego infrarrojos, por ser de menor frecuencia que el color rojo.

Alrededor de 1880 Samuel P. Langley inventó el primer detector de radiación infrarroja, llamado bolómetro, que captaba la radiación por el aumento de temperatura producido en un cuerpo absorbente de calor. Durante esta época se utilizaba la medición de la radiación infrarroja en la astronomía.

Durante la Segunda Guerra Mundial y la guerra de Corea, las propiedades de la radiación infrarroja se usaron principalmente para temas militares con la invención de los misiles guiados por infrarrojos. En 1958 la empresa AGA (actualmente FLIR Systems) desarrolló la primera cámara térmica para aplicaciones militares, esta cámara es muy útil porque tiene la capacidad de producir una imagen clara en la oscuridad total y a través de la niebla, la nieve, la lluvia y el humo.

En 1956 Lawson reporta la primera aplicación médica de la termografía en el diagnóstico de cáncer de mama.

En 1965 empresa Sueca AGA lanzó al mercado la primera cámara termográfica para propósitos civiles y comerciales, se utilizó más que todo para inspeccionar líneas de alta tensión.

Durante la crisis energética de los años setenta la necesidad de reducir las pérdidas de calor vinculadas a los edificios y viviendas era una prioridad debido al alto coste de la energía necesaria para climatizarlos, esto dio cabida a la implementación de la termografía. También en esta época apareció el sensor piroeléctrico, desarrollado por las compañías Philips y English Electronic Valve, el cual se basa en la detección de radiación infrarroja a través de una pequeña ventana, el sensor genera un voltaje o corriente en función de la radiación capturada. Utilizado en aplicaciones como detector de movimiento o detección de gases.

Los primeros sistemas infrarrojos, eran de gran tamaño y pesados por tanto difíciles de manejar. El sensor se constituía en una aleación de elementos que producían una señal eléctrica al estar expuestos a la radiación infrarroja, sin embargo el sensor se calentaba y se necesitaba un sistema paralelo de refrigeración. La primera cámara de infrarrojos que funcionaba con batería, creada en 1973 por FLIR Systems, utilizaba un sistema de refrigeración con nitrógeno líquido; en 1985 la misma empresa implementó refrigerador criogénico en vez del nitrógeno.

Sobre la década de los noventa aparecieron las primeras cámaras termográficas cómodas y manejables gracias a la invención de los sensores microbolómetros, sensores térmicos, los cuales cambian su resistencia eléctrica al ser expuestos a radiación infrarroja. Esta tecnología ya no necesitaba ningún tipo de refrigeración lo que redujo de manera asombrosa el tamaño y el peso de los sistemas termográficos. La primera cámara no refrigerada fue desarrollada por FLIR Systems en 1997, que entró al mercado por el interés de las empresas

productoras para hacer mantenimiento en sus plantas, y aún llegó a masificarse gracias a la implementación de la termografía infrarroja en los autos BMW para visión nocturna y en los aviones de monitoreo no tripulados en la milicia.

Los adelantos tecnológicos, el avance en el campo de la tecnología informática y la llegada de la era digital en la mitad de los años noventa provocaron la rápida evolución de las cámaras termográficas, actualmente estos sistemas tienen el tamaño de una cámara portátil y pueden ser operados con una sola mano. Además de permitir el acceso de la termografía a una alta gama de aplicaciones entre las cuales están: La Astronomía, la medicina, la seguridad pública, el rescate, la electrónica, la meteorología, la ingeniería de procesos, el mantenimiento industrial, el análisis de la vegetación y el estudio de las temperaturas de los océanos.

El siguiente es un breve recuento de la evolución de las cámaras de termografía infrarroja:

- 1958: En Suecia la empresa AGA desarrolla la primera cámara de infrarrojos con fines militares.
- 1965: AGA introduce el modelo 600, el primer escáner comercial por infrarrojos.
- 1973: Modelo 750, el primer escáner portátil con baterías para inspecciones industriales por AGA.
- 1975: primer sistema infrarrojo compatible con TV.
- 1978: AGA desarrolla el modelo 780. Implementado con escáneres de doble longitud de onda y registro analógico en tiempo real de eventos térmicos, este modelo generó un desarrollo en el mercado de I&D
- 1980: Jenoptik desarrolla la primera cámara de escaneo infrarrojo basada en un elemento detector simple para aplicaciones comerciales.
- 1993: Primera cámara con Matriz de Plano Focal (FPA, focal plane array) de alta resolución por FLIR.

- 1995: Primera cámara infrarroja tipo videocámara con matriz de plano focal (MPF).
- 1997: AGEMA desarrolla la Agema 570, la primera cámara de IR con detector FPA no refrigerada en el mercado.
- 1998: Lanzamiento en el Mercado de la VarioTHERM – primer sistema con un detector FPA (focal plane array) con detector PtSi (Siliciuro de Platino).
- 2000: Creación de ThermaCAM PM 695; la primera cámara de infrarrojos que produce tanto una imagen térmica como visual. Por FLIR.
- 2002: Indigo Systems introduce la cámara infrarroja más pequeña del mercado: La Omega.
- 2006: Flir Systems introduce en el mercado la ThermaCAM P640. La primera cámara infrarroja portátil en el mundo que incorpora un detector de matriz de plano focal de 640x480 píxeles y produce imágenes ultra nítidas. Introduce la serie ThermoVision SC6000, especialmente desarrollada para I&D.
- 2007: VarioCAM® HiRes versión Research, primera cámara termográfica con capacidad de generación de imágenes térmicas infrarrojas de 1.2 Mega Píxeles. Por JENOPTIK.

Desde las primeras que se desarrollaron hasta las millones que hay en la actualidad, la implementación de estas cámaras en prácticamente todas las áreas en las cuales incursiona y se desenvuelve el hombre, ha hecho que esta tecnología se expanda rápidamente, proyectando que, en un futuro no muy lejano se adquiriera una de estas cámaras por cada hogar en el mundo, convirtiéndose en una tecnología de uso masivo.

4. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La termografía infrarroja, como se mencionó anteriormente, es una técnica de medición la cual no necesita contacto con el objeto a medir y está clasificada dentro de los ensayos no destructivos (END), en lo concerniente al principio de funcionamiento, la empresa Land Instruments International, en su manual “Guía básica a la termografía” [6], explica claramente los principios de funcionamiento de este tipo de tecnología, por lo cual, a continuación se extraen algunos párrafos de dicho texto.

4.1 Principio físico de la termografía infrarroja

Todo cuerpo emite cierta cantidad de energía electromagnética, la cantidad de dicha energía está relacionada con la temperatura del objeto. La cámara termográfica puede determinar la temperatura sin contacto físico con el objeto midiendo la energía emitida.

La energía procedente de un objeto caliente se emite a distintos niveles en el espectro electromagnético, en la mayoría de las aplicaciones industriales se utiliza la energía radiada en el espectro infrarrojo para medir la temperatura del objeto, la figura 1, muestra el espectro electromagnético, donde se observa la radiación infrarroja, rayos X, ultra violeta, infrarrojo, radio y sus respectivas longitudes de onda. Tiene en común que todas ellas emiten energía en forma de ondas electromagnéticas y se propagan a la velocidad de la luz.

El rango visible para el ojo humano se encuentra entre los 0.4 y 0.75 micrómetros.

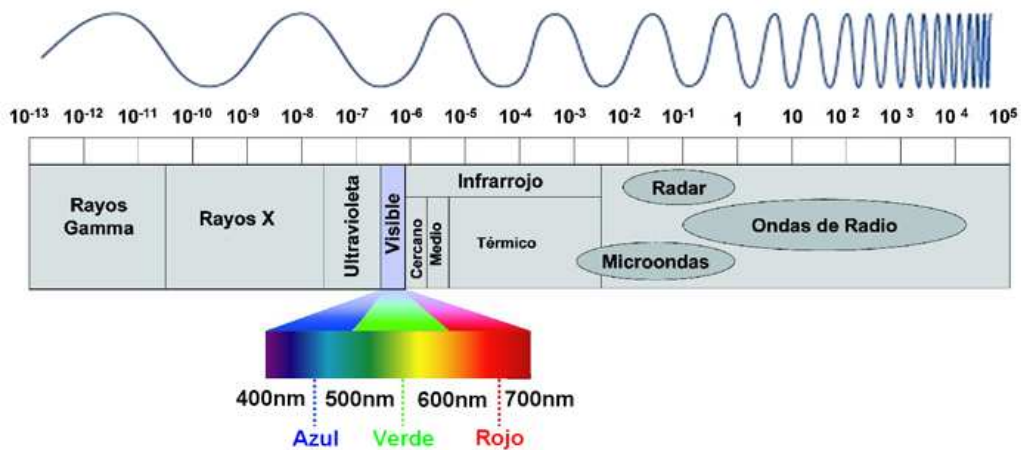


Figura 1. Espectro electromagnético [7]

La longitud de onda de la radiación infrarroja se encuentra en el rango de entre 0.7 y 1000 micrómetros. Aunque las emisiones no pueden detectarse por una cámara normal, la cámara térmica puede percibir esta energía a través de un sistema óptico hacia el sensor de forma similar a la luz visible. El sensor convierte la energía infrarroja en tensión eléctrica, que después de amplificarse y de un complejo procesamiento de la señal, se utiliza para construir una imagen térmica en el visor del operador montado en la cámara de termografía.

4.2 La distribución de la energía

En la figura 2, se muestra la energía emitida por un objeto a diferentes temperaturas, en estas se observa que; cuanto mayor es la temperatura, mayor es el pico de energía y la longitud de onda a la que ocurre el pico de energía se vuelve progresivamente más corta.

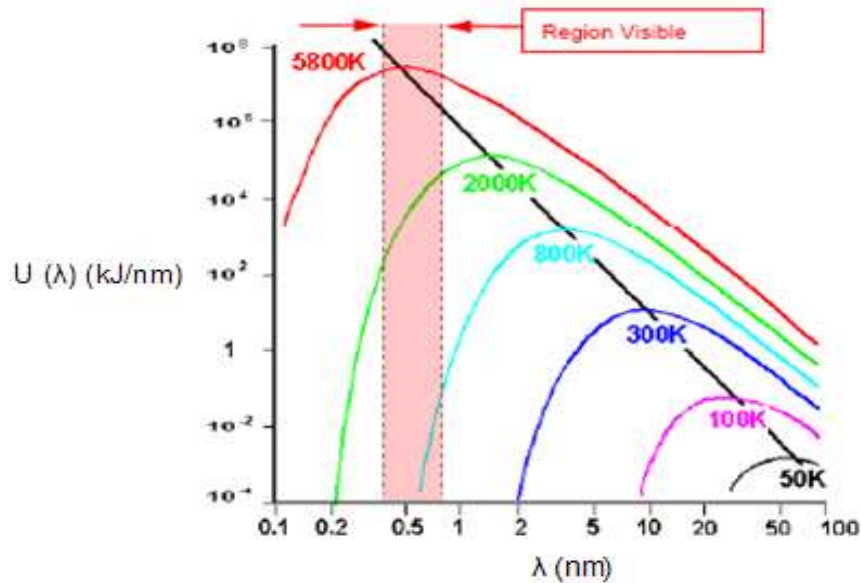


Figura 2. Energía Infrarroja y Distribución en el espectro electromagnético [6]

El eje vertical representa la energía emitida en cada nanómetro del espectro electromagnético, y el horizontal la longitud de onda.

4.3 Emisividad

La cantidad de energía radiada por un objeto depende no solo de su temperatura, sino también de su emisividad; la cual, se refiere a la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a una diferencia de temperatura determinada. Un objeto que emite el máximo posible de energía para su temperatura se conoce como cuerpo negro. En la práctica no hay emisores perfectos y las superficies suelen emitir menos energía que un Cuerpo Negro.

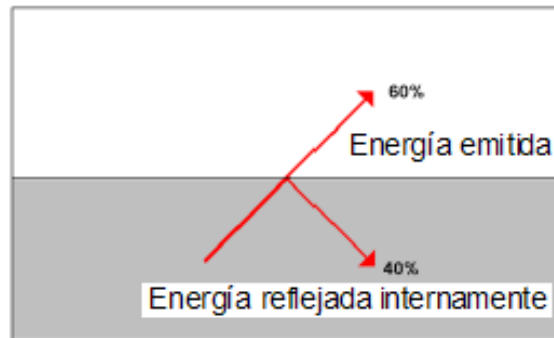


Figura 3. La energía Infrarroja reflejada en una superficie [6]

La figura 3 muestra que los objetos no son emisores perfectos de energía infrarroja, ya que la energía se mueve hacia la superficie pero cierta cantidad se refleja hacia el interior y nunca sale.

$$Emisividad = \frac{\text{Radiación emitida por un objeto a una temperatura } T^{\circ}}{\text{Radiación emitida por un cuerpo negro a una temperatura } T^{\circ}} \quad (1)$$

La Emisividad es, por lo tanto, una expresión de la capacidad de un objeto para radiar energía infrarroja. De manera general, se puede decir que; las superficies opacas pueden absorber o reflejar la radiación incidente, generalmente, las superficies rugosas absorben más calor que las superficies brillantes o 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. Algunas sustancias, entre ellas algunos gases y el vidrio, son capaces de transmitir grandes cantidades de radiación.

Los valores de emisividad varían de un material a otro. Así, por ejemplo, los metales con una superficie áspera u oxidada tienen una mayor emisividad que una superficie pulida. En la tabla 1 se detallan algunos ejemplos:

Material	Emisividad
Acero brillante	0.18
Acero oxidado	0.85
Latón brillante	0.10
Latón oxidado	0.61
Aluminio brillante	0.05
Aluminio oxidado	0.30
Cemento	0.90
Asfalto	0.90
Ladrillo Rojo	0.93
Grafito	0.85

Tabla 1. Valores de emisividad [6]

5. LA TERMOGRAFIA INFRARROJA



Figura 4. Vista de la Termografía Infrarroja [14]

Existen situaciones en las cuales no es conveniente (o posible) el uso de sensores térmicos convencionales, que requieren contacto con la superficie que se desea sensor su temperatura, dichas situaciones requieren medidas sin retraso y precisas, en las que es imposible el contacto físico ya que corresponden a zonas inaccesibles o el cuerpo a caracterizar puede ser afectado al ejercer contacto. Para los casos anteriores es indispensable el uso de la termografía infrarroja, la cual no requiere de contacto con el objeto, no emite ninguna radiación que pueda ser dañina en algunas situaciones, ya que solo observa la radiación saliente que es siempre emitida por los cuerpos en forma natural, la termografía infrarroja realiza la medición de la radiación infrarroja, la cual es emitida por todo tipo de objeto, esta permite transformar una imagen invisible a nuestros ojos (infrarroja) en una imagen radiométrica, en la cual se pueda leer valores de temperatura, representados en un mapa de colores.

El ajuste de la temperatura o radiación que corresponde a cada zona de color (que se realiza al termograma), depende de; la emisividad del material analizado, del ángulo de incidencia con la superficie analizada, de la atenuación de la radiación por la atmósfera, de la radiación emitida por el material analizado, de la presencia de otros cuerpos radiantes, de los factores meteorológicos, etc.

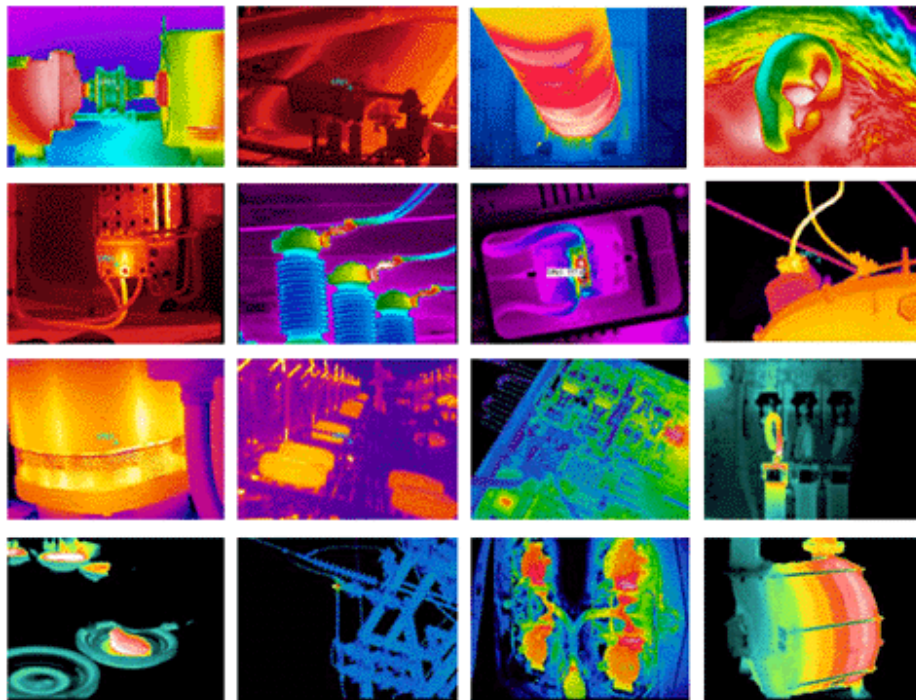


Figura 5. Imágenes termográficas [13]

5.1 Concepto industrial

En el ámbito industrial, la termografía infrarroja se define como un método de inspección de equipos eléctricos y mecánicos mediante la obtención de imágenes de su distribución de temperatura. Este método de inspección se basa en que la mayoría de los componentes de un sistema presentan un incremento de temperatura cuando se presenta un mal funcionamiento en ellos; dicho incremento de temperatura en un circuito eléctrico podría deberse por ejemplo, a una mala conexión, o a problemas con rodamientos en caso de equipos mecánicos. Así, observando el comportamiento térmico de los componentes pueden detectarse defectos y evaluar su seriedad [6].

Esta técnica genera imágenes infrarrojas, conocidas como termogramas, o fotografías de la radiación infrarroja que emiten los objetos, en las cuales se puede medir la temperatura del objeto y su entorno.

Al estar basada en imágenes, la termografía infrarroja, permite representar un la temperatura en un sistema de medida bidimensional. Además, tratando sus datos con algoritmos para el procesamiento de imágenes relacionados con la modelización de los mecanismos de transferencia del calor en sólidos, la termografía llega a ofrecer información tridimensional de los mismos.



Figura 6. Termografía infrarroja en acción [12]

5.2 Cámara termográfica una herramienta de inspección

Las cámaras termográficas son equipos especializados, los cuales miden la emisión natural de radiación infrarroja procedente de un objeto y generan una imagen térmica, permitiendo obtener en fácilmente, un reporte de la medición listo para su análisis técnico. Al no necesitar contacto físico con el sistema, las inspecciones pueden realizarse a pleno funcionamiento, sin pérdida o reducción de productividad; además, las cámaras de termografía modernas, son portátiles y de fácil manejo.



Figura 7. Diferentes cámaras termográficas [6], [9], [10]

Las características más relevantes de las cámaras termográficas son:

- Sensibilidad térmica: Esta se basa en el ruido equivalente a la menor temperatura detectable (NETD), cuanto más bajo sea, mejor se puede detectar un contraste térmico.
- Precisión: es la medida de dispersión entre los datos de temperatura medida de un cuerpo con relación a la temperatura real.
- Resolución espacial: Llamada también campo de visión instantáneo, es el área cubierta por un sensor remoto en un determinado momento.

- Frecuencia de imagen: Esta es la tasa de actualización en Hertz, es decir, la cantidad de cuadros por segundo necesaria para generar una imagen termográfica lo más rápido posible.



Figura 8. Inspección por termografía Infrarroja [9]

A diferencia de los termómetros por infrarrojos, que solo pueden sensar temperaturas en un único punto, una cámara termográfica puede capturar al mismo tiempo la temperatura de miles de puntos de todos los componentes de un sistema, por ejemplo, en el caso de un motor se podrían analizar el acoplamiento del eje, los rodamientos del motor y del eje y el cuadro de control/conexiones.



Figura 9. Cámaras de última generación

Las cámaras infrarrojas realizan el siguiente proceso en sus mediciones:

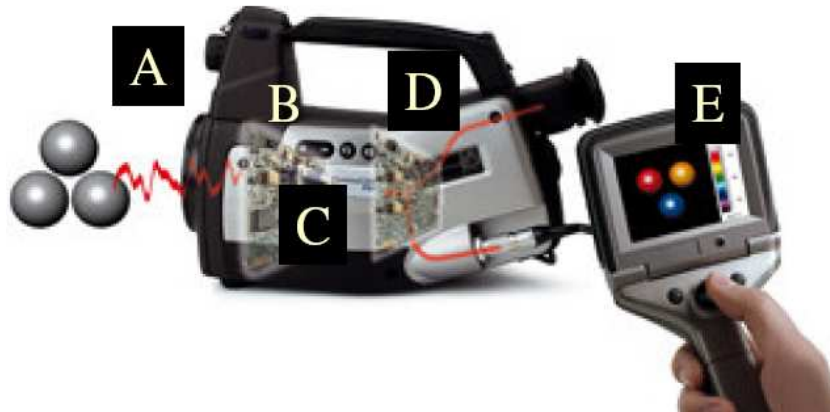


Figura 10. Funcionamiento de la cámara termográfica [10]

En la figura 10, la energía infrarroja proveniente de un objeto (A), es enfocada por el conjunto de lentes ubicados en la cámara (B), sobre un detector de infrarrojos (C), el cual envía la información a los circuitos electrónicos encargados de procesar la imagen (D) y convertir los datos provenientes del detector en una imagen que puede ser vista en la pantalla del equipo (E).

Las cámaras termográficas, además de localizar problemas (puntos calientes), mediante mediciones precisas y sin contacto, proporcionan la información necesaria para realizar un análisis de manera ágil y sencilla, lo que permite tomar las acciones correctivas necesarias.

6. Aplicaciones de la termografía infrarroja

La termografía infrarroja se puede aplicar en cualquier situación donde un problema o situación se evidencie por medio de una condición térmica. Así, se han desarrollado numerosas investigaciones que describen el uso de la termografía infrarroja para un gran número de aplicaciones como por ejemplo, aplicaciones industriales, aplicaciones médicas, aplicaciones ambientales industria del automóvil, industria de la construcción, mecánica de sólidos y líquidos, arte, etc., a continuación se muestran algunas de dichas aplicaciones:

- **Aplicaciones eléctricas:**

En instalaciones eléctricas, los cambios en, la disipación de potencia, la resistencia y otros factores, pueden evidenciarse por una variación en la temperatura, por lo que la termografía permite detectar problemas relacionados con:

- Oxidación de los conmutadores de alta tensión
- Conexiones mal fijadas
- Conexiones sobrecalentadas
- Inspección en líneas de alta tensión y detección de defectos de las mismas
- Conexión de alta resistencia
- Daños en fusibles
- Problemas de corrosión
- Conexiones aisladas y defectos en las mismas
- Monitoreo de generadores
- Monitoreo de transformadores, entre otros.

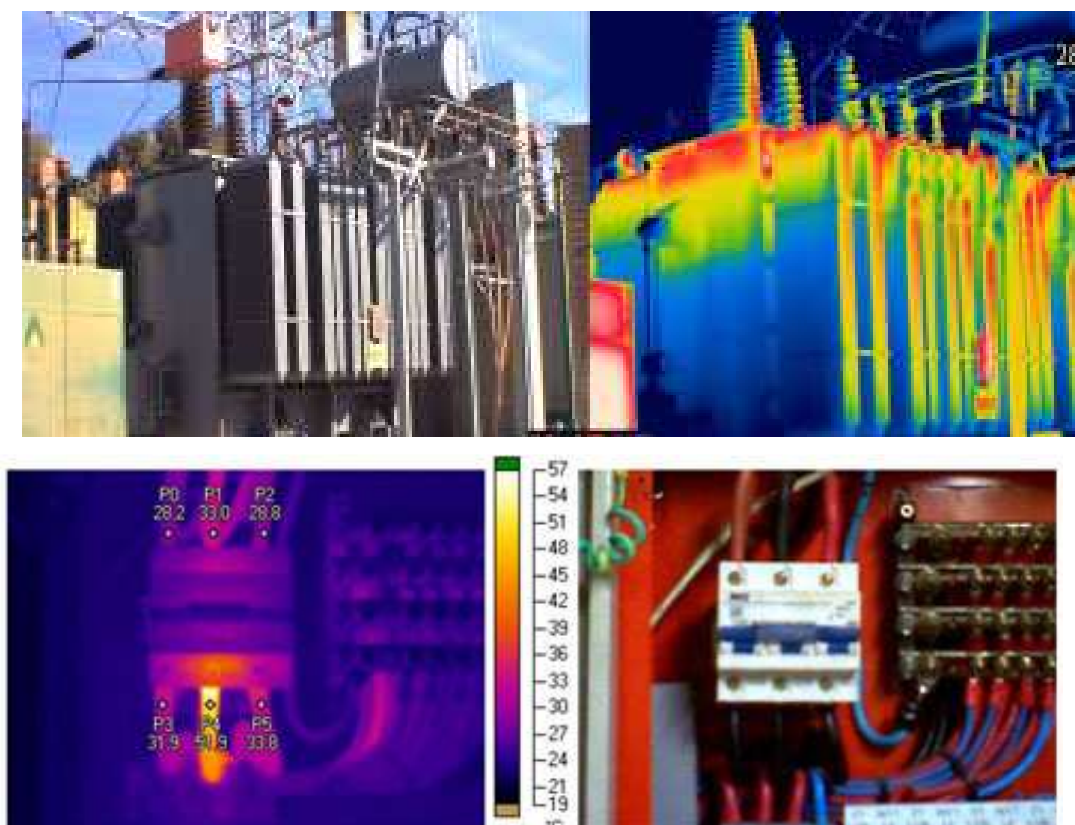


Figura 11. Termografía de instalaciones eléctricas [10]

- Aplicaciones mecánicas:

La termografía infrarroja puede usarse como un instrumento de análisis de equipos mecánicos o instalaciones, no verificables con métodos convencionales, debido a su naturaleza y su funcionamiento (partes móviles), algunos de esos son:

- Sobrecalentamiento
- Sobrecargas
- Motores eléctricos
- Localización de fugas
- Monitoreo de calderas
- Monitoreo de bombas, entre otros.



Figura 12. Aplicaciones mecánicas [11]

- Aplicaciones en el área de las energías renovables:

Energía Eólica

- Verificación de la estructura física de la pala.
- Revisión y monitoreo de las palas.
- 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.

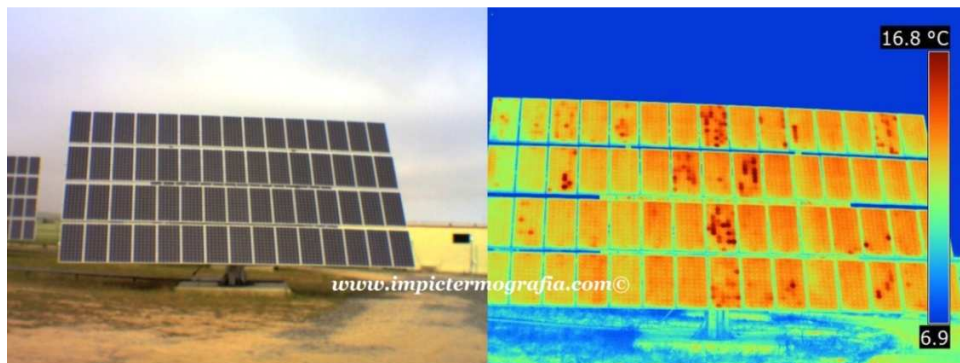


Figura 13. Termografía de panel solar [10]

- Aplicaciones electrónicas:

De manera similar al caso de instalaciones eléctricas, los equipos electrónicos suele variar su temperatura ante la presencia de fallas o defectos. Algunos de los usos de la termografía infrarroja dentro de la electrónica son:

- Monitoreo de circuitos impresos.
- Revisión de dispositivos semiconductores.
- Inspección de circuitos híbridos.
- Verificación de soldaduras.
- Monitoreo de antenas y sus componentes.



Figura 14. Torre de antenas [12]

- Aplicaciones en la construcción de estructuras:

La termografía infrarroja sería una tecnología idónea, vinculada a la seguridad de una construcción o instalación se refiere, algunas de sus aplicaciones en el área de estructuras son:

- Inspección en la calidad de materiales.
- Monitoreo de la calefacción.

- Detección de defectos en los aislantes.
- Detección de humedades.
- Filtraciones de agua.
- Restauración de edificaciones antiguas.
- Reurbanización.

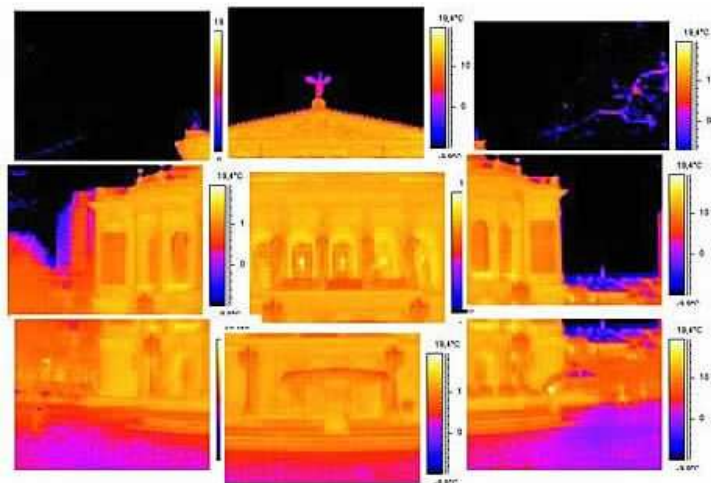


Figura 15. Imagen termográfica del capitolio [15]

- Aplicaciones en fuerzas de seguridad:

Las primeras aplicaciones y adelantes de la termografía infrarroja se dieron en la investigación militar, específicamente, en lo que a vigilancia nocturna de tropas se refiere, permitiendo ver la importancia y versatilidad de esta tecnología. Hoy día, en esta industria, la termografía se ha aplicado en aéreas como:

- Vigilancia de fronteras, marítimas, terrestres y aéreas.
- Identificación de amenazas terroristas.
- Descubrimiento de camuflaje enemigo, localización de objetivos.
- Detección del enemigo en combate desde tierra, agua y aire.
- Rescates de rehenes.
- Herramienta en interrogatorios.

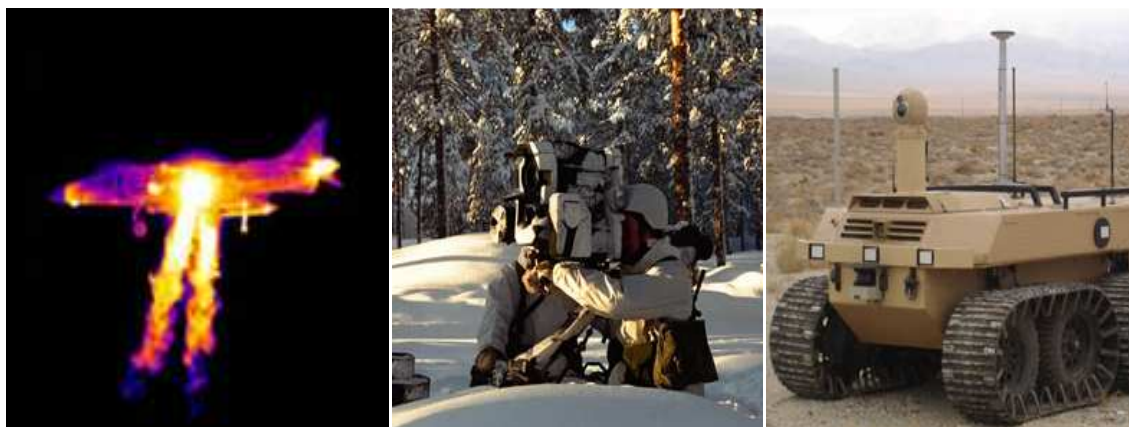


Figura 16. Imágenes fuerzas militares [6]

- Aplicaciones ambientales:

Dentro del área ambiental la termografía infrarroja ha sido una tecnología de gran demanda, dado que la mayoría de procesos químicos que podrían afectar el medio ambiente y sus características, están relacionados con procesos exotérmicos y endotérmicos; por lo que esta ha empleado en tareas como lo son:

- Detección temprana de conflagraciones.
- Localización de desechos.
- Monitoreo de territorios protegidos.
- Monitoreo del cambio climático (calentamiento global).
- Alarmas tempranas.

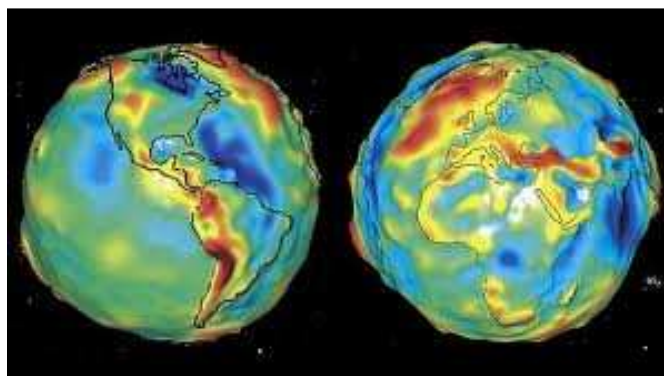


Figura 17. La tierra - vista termográfica [14]

- Aplicaciones en la medicina:

La termografía infrarroja esta generalmente aceptada como una herramienta precisa y fiable para la evaluación, diagnostico y seguimientos médicos; la cual aprovecha la característica de los mecanismos de defensa del cuerpo humano y del metabolismo, de generar calor, esta herramienta de diagnostico puede emplearse en procedimientos como:

- Detección temprana de cáncer de piel.
- Diagnóstico de cáncer de mama.
- Diagnostico de artritis..
- Estudio y localización exacta de puntos de dolor.
- Monitorización evolutiva de la efectividad de anestesia local en extremidades.
- Localización rápida de patologías en músculos y huesos, y en sistemas cardiovascular o neurológico.
- Análisis de la condición funcional de los tejidos blandos lesionados.
- Estudio de la implicación de raíces nerviosas en patologías.
- Valoración de gravedad de quemaduras.
- Seguimiento de injertos.
- Monitoreo de pacientes reimplantados.
- Cirugía de corazón abierto.
- Pruebas de stress.
- Documentación objetiva sobre el tratamiento más adecuado en diversas dolencias.
- Medicina deportiva.
- Medicina estética.
- Medicina alternativa.
- Contención de epidemias, fue usado recientemente en la pandemia de AH1N1.

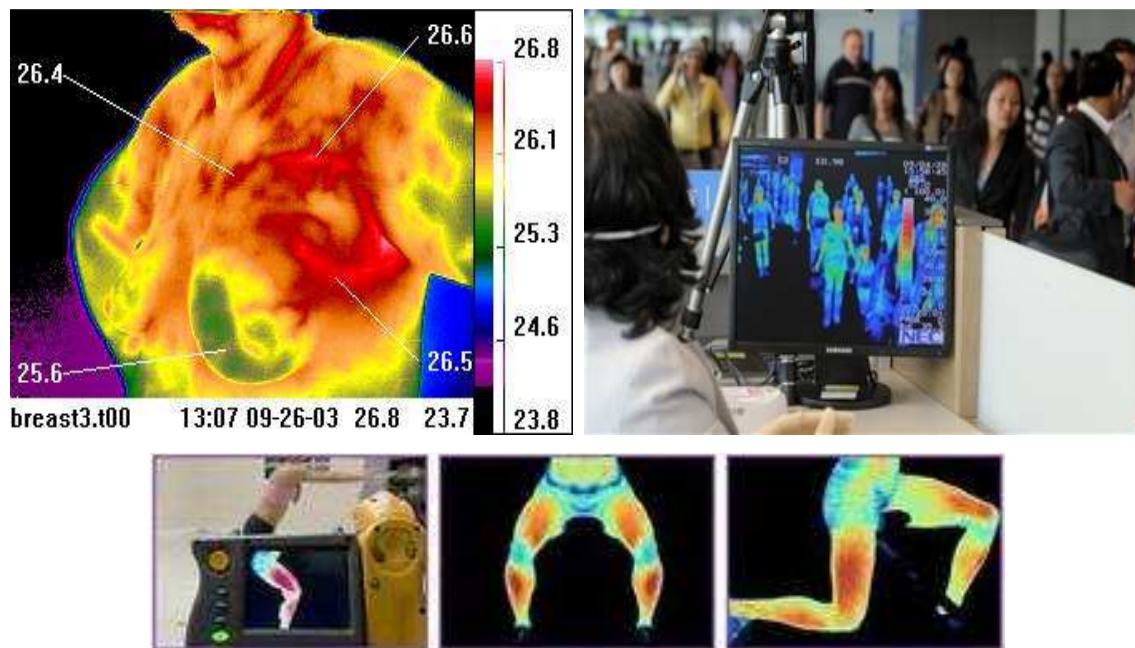


Figura 18. Aplicaciones médicas [15]

- Aplicaciones en la veterinaria:

En cuanto a la veterinaria y la zootecnia se refiere, la termografía infrarroja ha sido y es utilizada en la mayoría de investigaciones de hábitat y naturaleza animal (salvaje), en cuanto a la veterinaria se usa de manera similar a la industria medica, principalmente como ayudante para:

- Detectar nervios irritados.
- Detectar Músculos dañados.
- Patologías axiales.
- Patologías articulares.
- Fracturas.
- Tendinitis.
- Investigaciones de comportamiento.

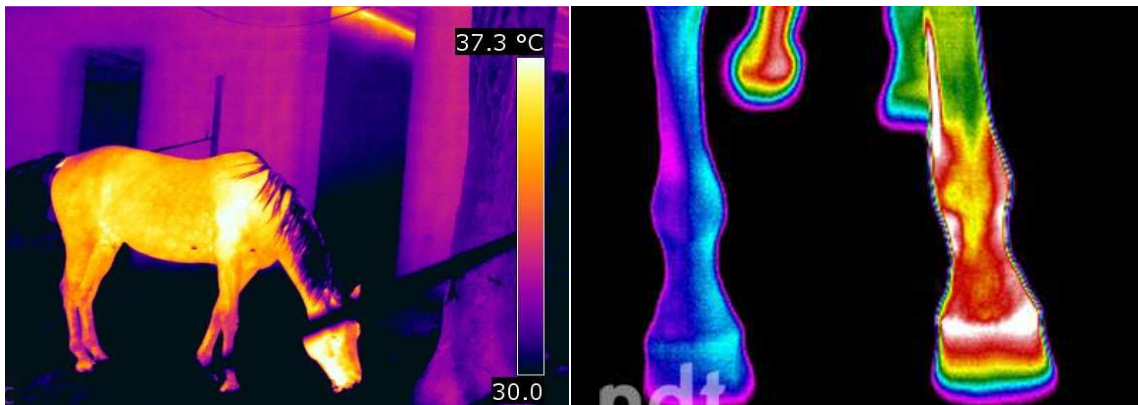


Figura 19. Aplicaciones veterinarias [12]

Estos son solo algunos de los usos que se le han dado a la termografía infrarroja, pero existen otros campos en los que se está incursionando, como lo son: la industria alimenticia, la industria del papel, la agricultura, la geología, el arte (en cuanto a restauración y verificación de originalidad se refiere), la astronomía, estudios forenses, entre otros, esto se debe a la naturaleza, que se refleja en la aplicabilidad de esta tecnología.

6.1 Aplicaciones a nivel industrial

Los múltiples avances tecnológicos en la ingeniería, enfocados al mejoramiento de los equipos de medición y monitoreo, como lo es la termografía infrarroja, es posible conocer las condiciones reales de operación equipos, para así garantizar su disponibilidad y confiabilidad, evitando que se ocurran fallas inesperadas.

A continuación se muestran las principales industrias en las cuales se aplica el método de medición por termografía infrarroja:

- Industria energética
- Tratamientos Térmicos
- Industria del plástico
- Industria automotriz
- Industria del Acero
- Industria del papel
- Industria Textil
- Industria del vidrio
- Industria del cemento y concretos
- Industria de la cerámica
- Industria Alimenticia
- Industria naval
- Industria petroquímica
- Industria de las telecomunicaciones
- Industria del Asfalto
- Industria del Cobre
- Industria del Termo formado
- Industria ferroviaria
- Industria farmacéutica
- Industria de la Goma y el Vulcanizado
- Fabricación de Lámparas
- Fabricación y desarrollo de neumáticos
- Industria del reciclaje
- Industria armamentista
- Industria aeronáutica
- Industria aeroespacial
- Producción de frigoríficos
- Industria ganadera
- Industria avícola
- Industria del plástico

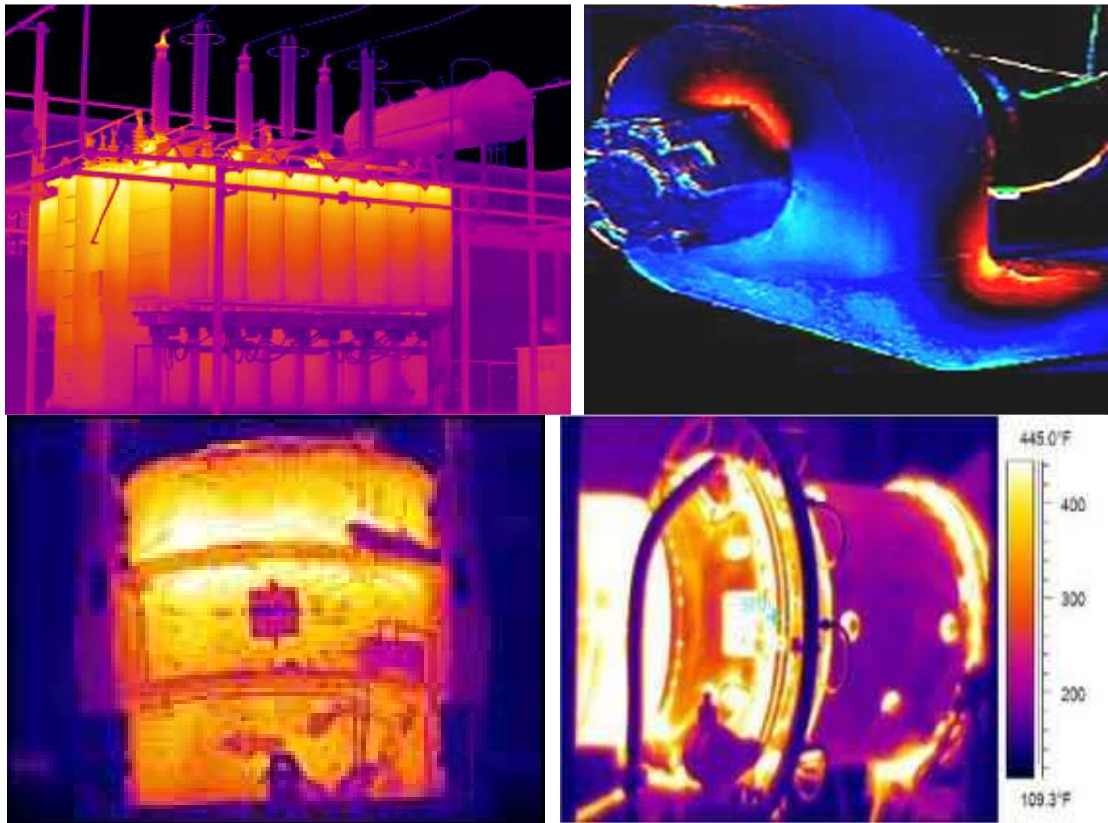


Figura 20. Imágenes termográficas de aplicaciones industriales [12]

En la industria, los paros no programados generan altos costos, para evitar esto, es necesario la implementación de un buen plan de mantenimiento, en el cual, la termografía infrarroja puede ser muy útil como equipo de monitoreo continuo, permitiendo obtener beneficios como; mayor confiabilidad de los equipos, mayor productividad, reducción de costos y máximo aprovechamiento de los recursos humanos.

Estas son algunas de las áreas de aplicación de la termografía en el Mantenimiento Industrial:

- Revisión y diagnostico de instalaciones eléctricas en general.
- Verificación de conexiones.
- Verificación de cables y empalmes.

- Revisión de soldaduras.
- Conductos de barras.
- Revisión y diagnostico de líneas de baja, media y alta tensión.
- Revisión y diagnostico de transformadores de potencia.
- Revisión y diagnostico de transformadores de corriente.
- Revisión y diagnostico de transformadores de tensión.
- Verificación de fusibles.
- Seccionadores.
- Monitoreo de interruptores
- Excitatrices de generadores y motores - Escobillas
- Instalaciones Mecánicas – Reductores
- Análisis de múltiples de escape en motores de combustión interna
- Pérdidas en Condensadores
- Fallas en aislaciones y refractarios
- Monitoreo de hornos y calderas
- Instalaciones frigoríficas
- Perdidas de frío
- Máquinas rotativas
- Líneas de vapor
- Monitoreo de reactores
- Rodamientos
- Monitoreo de motores eléctricos
- Capacitores
- Hornos de Cemento
- Bombas de agua
- Intercambiadores de calor
- Torres de enfriamiento
- Pérdidas en válvulas líquidos-vapor
- Pérdidas en trampas de vapor
- Verificación de niveles de líquidos en recipientes

En la figura 21, se observan imágenes de variados procesos de mantenimiento implementando la termografía infrarroja como tecnología de medición térmica.



Figura 21. Mantenimiento usando termografía infrarroja [9], [12], [13]

6.2 Aplicaciones de la termografía infrarroja en Colombia

La termografía infrarroja en llegó a nuestro país hace aproximadamente 30 años, para facilitar las tareas de mantenimiento, desde entonces, su crecimiento ha sido grande, y su proyección plantea grandes oportunidades de mejoramiento y crecimiento para el país.

6.2.1 Investigación académica

Desde hace varios años, las instituciones de educación superior en Colombia, han trabajado en el estudio y desarrollo de los campos de aplicación de la termografía infrarroja. A continuación se realiza un breve recuento de los principales estudios que han sido desarrollados en el ámbito académico en lo que a la termografía infrarroja y su implementación respecta:

- Universidad de La Salle (Santa fe de Bogotá - Cundinamarca):
 - Proyectos de grado relacionados con el seguimiento termográfico a motores para establecer donde se presentan las pérdidas eléctricas.
 - Prácticas empresariales para documentar la calidad de energía domiciliaria en el barrio residencial balcones de Buenavista, Cajicá/Cundinamarca.
 - Análisis termográfico de sistemas eléctricos subterráneos.
- Universidad Nacional de Colombia (Santa fe de Bogotá - Cundinamarca):
 - Guía general y recomendaciones para pruebas de diagnóstico de falla en equipos de alta tensión en subestaciones de energía eléctrica.
 - Aplicación de la termografía infrarroja en el mantenimiento de equipos de potencia instalados en subestaciones de potencia convencionales AT/MT con niveles de tensión 230, 115, 57.5, 34.5 y MT (11.4 a 13.8 kV).

- Utilización de los registros termográficos en el análisis de los parámetros de funcionamiento del sistema de enfriamiento de transformadores de potencia (OSAKA).
- Universidad de los Andes (Santa fe de Bogotá - Cundinamarca)
 - Caracterización de grietas en tuberías mediante termografía, interferometría y análisis por elementos finitos.
- Universidad del Valle (Santiago de Cali – Valle del Cauca):
 - Laboratorio para el procesamiento de imágenes infrarrojos: Ensayos no destructivos.
 - Nuevo Contraste Térmico para el Ensayo Termográfico no Destructivo de Materiales.
 - caracterización de defectos en termografía infrarroja mediante máquinas de aprendizaje.
 - Detección de anomalías por termografía en equipos eléctricos usando técnicas de visión artificial.
- Universidad del Cauca (Popayán - Cauca):
 - Sistema de Monitoreo termográfico de neonatos a través de una red local de computadores.
 - Análisis termográfico para la determinación de puntos críticos en equipos mecánicos y eléctricos.
- Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga - Santander):
 - Termografía: Caracterización de imágenes termográficas de pararrayos presentes en subestaciones eléctricas

- Evaluación y análisis de la condición de equipos de Alta Tensión mediante imágenes termográficas. Por el grupo de investigación CPS para la empresa ISA (Ver anexo: Nueva termografía infrarroja el adiós a los sistemas clásicos).
- Disipación de la energía generada en un circuito electrónico utilizando un TPTC (heat pipe).

Como podemos observar, la termografía infrarroja ha empezado a ser objeto de estudio en las principales universidades colombianas, y es de vital importancia, que la universidad pontificia bolivariana se una a este proceso de crecimiento y desarrollo en la aplicación de termografía infrarroja.

6.2.2 Implementación industrial

En la industria colombiana, la termografía infrarroja se especialmente en el área de mantenimiento predictivo, esto se debe a los conocidos beneficios que se obtienen al utilizar este tipo de tecnología.

En la tabla 2, se observa un listado de los sectores donde actualmente se utiliza la termografía infrarroja en Colombia, esta tabla se basa en estudios internos de mercado realizados por la empresa APROI LTDA, líder en el servicio de este tipo de tecnología desde los años 80; cuando aún se comercializaban las cámaras termográficas que requerían sistema de refrigeración con nitrógeno.

ITEM	POR ACTIVIDAD	TIPO DE EMPRESA	APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFIA		
			ELECTRICO	MECANICO	VAPOR / AISLAMIENTO
1	INDUSTRIALES	CEMENTERAS	X	X	X
2		PAPELERAS	X	X	X
3		PRESTADORAS DE ENERGIA	X	X	
4		GENERADORAS DE ENERGIA (TERMICA E HIDRICAS)	X	X	
5		INGENIOS AZUCAREROS	X	X	X
6		LABORATORIOS , FARMACEUTAS Y ELEMENTOS DE ASEO	X	X	X
7		TEXTILERAS	X	X	X
8		PETROQUIMICAS	X	X	X
9		ALIMENTICIAS	X	X	X
10		METALMECANICAS	X	X	X
13		MOLINOS	X	X	
14		ZONAS FRANCAS	X	X	
15		LICORERAS Y VINOS	X	X	
16		AUTOMOTRIZ (MOTOS Y CARROS)	X	X	
17		CONSTRUCTORAS CIVILES	X	X	
18	COMERCIALES	CENTROS COMERCIALES	X	X	
19		ALMACENES DE CADENA	X	X	
20		CENTRO DE RECREACION	X	X	
21		EMPRESAS DE SEGUROS Y CORREDORES	X	X	
22		COMERCIALIZADORAS DE ENERGIA	X	X	
23		HOPITALES, CLINICAS Y CAJAS DE COMPENSACION	X	X	
24		BANCARIOS	X	X	
25		CENTROS DE ESTUDIOS (UNIVERSIDADES /COLEGIOS Y BIBLIOTECAS	X	X	
26		HOTELES	X	X	
27		ESTACIONES DE SERVICIO (GAS Y GASOLINA)	X	X	
28	SERVICIOS	INGENIEROS, ARQUITECTOS Y CONSULTORES	X	X	
29		UNIDADES RESIDENCIALES	X	X	
30		PROPIEDAD HORIZONTAL	X	X	
31		CONDOMINIOS	X	X	

Tabla 2. Uso de termografía infrarroja en Colombia

Los datos anteriores revelan que en el país ya se está haciendo uso de termografía infrarroja en prácticamente todos los sectores; sin embargo, en algunos sectores con poca incidencia, su utilización, de manera general, se centra

principalmente en el campo medico, en industrias del sector de los hidrocarburos y grandes industrias del sector minero. En los demás sectores, se limita a grandes empresas que realizan inversión en investigación, pues no se ha logrado generar una conciencia de que es una excelente inversión, que se ve reflejada en la mejora de la calidad de sus servicios y reducción de costos, entre otros beneficios, ya antes mencionados.

Cabe resaltar que según los estudios realizados por APROI Ltda., solo una decima parte de las empresas a nivel nacional utilizan la termografía infrarroja, y el 90% de estas la usan para mantenimiento preventivo o predictivo.

7. Normatividad que rige a la termografía infrarroja

Es muy importante que tanto empresas como profesionales, cuenten con certificaciones industriales, ya que esto les permite calificar su trabajo o servicio como de alta calidad, y como consecuencia, les permite tener una mayor captación de proyectos y alto reconocimiento a nivel global.

La ASTM International es el principal organismo encargado de administrar las distintas normativas industriales de las certificaciones ISO, dicha asociación presenta la posibilidad de establecer modelos preventivos para la utilización de la termografía infrarroja, ya que esta tecnología es considerada como una herramienta importante para la temprana detección de problemas en el entorno industrial debido a las averías en la maquinaria implicada, estableciendo así los requerimientos de certificación necesaria. En el anexo C se muestran algunas prácticas recomendadas por la asociación para una correcta implementación de esta tecnología.

En Colombia las certificaciones ISO pueden ser otorgadas por diferentes entidades aprobadas por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC): SGS Colombia S.A., BVQI Colombia Ltda., International Certification and Training S.A. (IC & T), Cotecna Certificadora Services Ltda., la Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico, y el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Sin embargo, la entidad máxima acreditada en nuestro país, es esta última.

Las normas correspondientes al uso e implementación de la termografía infrarroja establecen pautas tanto para las especificaciones técnicas de la cámara infrarroja como para la formación y cualificación del personal, lo que estandariza la utilización de este método. Estas son:

ISO 18434-1:2008 (PROCEDIMIENTOS GENERALES).

En esta norma se hace una introducción al uso de la termografía infrarroja en la supervisión y diagnóstico del estado de la maquinaria, establece los usos con respecto a la evaluación del funcionamiento de la misma, indica los métodos y requisitos para realizar la termografía, registra recomendaciones en cuanto a la seguridad y para establecer los criterios de evaluación de la severidad con respecto a las anomalías identificadas. En esta también se muestran los procedimientos que se deben hacer para determinar y compensar la temperatura aparente reflejada, emisividad, y atenuar medios cuando se mide la temperatura de la superficie de un objetivo cuantitativo.

ISO 18436-1: 2004 (Requisitos para certificar organismos y el proceso de la certificación)

En esta norma se encuentran los requisitos que deben tener en cuenta los organismos que ofrecen los sistemas de certificación para el personal que realiza la supervisión de condición de la maquinaria. Además de cómo hacer la identificación de daños en una máquina y como se debe corregir

ISO 18436-7: 2008. (Termografía)

Requisitos para la calificación y la evaluación del personal de supervisión y diagnóstico, una vez se hayan evaluado estos requisitos se procede a entregar un certificado o una declaración de la conformidad de la ISO 18436-7: 2008, lo cual proporciona el reconocimiento de las calificaciones y de la capacidad de los individuos para realizar medidas y análisis térmicos para la supervisión y el diagnóstico.

ISO/DIS 18436-8 (Condición de vigilancia y diagnóstico de máquinas)

Recomienda que el personal realice una prueba de percepción de colores, esta prueba tiene en cuenta los criterios de Ishihara, los cuales permiten, utilizando imágenes de puntos de colores, determinar si el candidato tiene un problema de daltonismo. Esta prueba es esencial debido a que si no se realiza y existe daltonismo en el candidato, el realizará un diagnóstico erróneo de la imagen. Si el candidato no supera el test debe hacer uso de paletas monocromáticas.

ISO 9712:2005 (Calificación y certificación del personal)

Especifica la calificación y la certificación del personal implicado en la prueba no destructiva, teniendo en cuenta la realización de las pruebas de emisión acústica, corriente de Foucault, termografía infrarroja, fugas, partículas magnéticas, penetrante, radiográfica, tensión, ultrasónica, representación visual.

La normatividad también incluye metodologías para la supervisión y diagnóstico utilizando termografía infrarroja para aplicaciones en particular como es el caso de las siguientes normas:

ISO 6781:1983 (Detección cualitativa de irregularidades termales en envolventes del edificio)

Especifica un método cualitativo, utilizando la termografía infrarroja, para detectar irregularidades termales en envolventes del edificio. La idea es identificar variaciones amplias en las características térmicas, incluyendo hermeticidad del aire, de los componentes que constituyen los envolventes externos de edificios.

ISO / TR 13154:2009 (Implementación, ejecución y directrices operacionales para la identificación de fiebre en los seres humanos con un termógrafo)

En esta norma se hacen las recomendaciones para la implementación, aplicación y funcionamiento de la termografía infrarroja como medio para identificar temperatura febril en seres humanos.

ASNT SNT-TC-1^a (Normativa americana de la Sociedad Americana para las Comprobaciones No Destructivas)

Documentación sobre las comprobaciones no destructivas, la calificación y la certificación de personal relacionado con la comprobación mediante termografía. Esta norma fue sustituida en 1991 por la norma ANSI/ASNT CP-189 “norma ASNT para la calificación y certificación del personal de ensayos no destructivos” en la cual se agrega la exigencia de que la certificación del personal sea realizada por una agencia central reconocida internacionalmente, por otro lado establece las condiciones que deben cumplir las personas que realicen capacitación de técnicos en ensayos no destructivos.

NTC 2034 (Ensayos no destructivos. calificación y certificación de personal)

Esta norma describe lo referente a la calificación y certificación del personal involucrado en ensayos destructivos (END). Esta norma muestra un procedimiento que proporciona un medio para evaluar y documentar el nivel competitivo del personal, teniendo en cuenta su nivel de conocimiento tanto teórico como práctico en el tema de ensayos no destructivos, se especifican los exámenes o pruebas que debe presentar el personal de acuerdo al nivel de certificación requerido.

CERTIFICACIÓN

A nivel de personal, la certificación es un documento que demuestra que un individuo está capacitado, debidamente calificado y que tiene la experiencia para realizar correctamente un ensayo no destructivo, en este caso, la implementación correcta de la tecnología de termografía infrarroja.

Niveles de certificación:

Los niveles son establecidos teniendo en cuenta los conocimientos, la experiencia y las responsabilidades que tiene el individuo que realiza el análisis termográfico. Existen tres niveles básicos de certificación, para cada uno de los cuales se debe realizar un curso teórico-práctico que permita capacitar al individuo en la tecnología, los niveles son:

- Nivel I: Está enfocado a la termografía cualitativa y realización de informes. El individuo está capacitado para realizar la calibración del equipo a utilizar, realizar una interpretación de la imagen obtenida, aplicar criterios de aceptación o rechazo de acuerdo a un procedimiento; sin embargo, depende de la responsabilidad que se le haya impuesto o de la que establezca la norma nacional, el hecho de que el individuo pueda realizar un análisis y tomar una decisión final sobre la misma.
- Nivel II: Está enfocado a la termografía cuantitativa, correcta medición de las temperaturas y una correcta interpretación de los resultados obtenidos de una prueba, evaluándolos con respecto a un código, norma o especificación adecuada. El individuo debe estar familiarizado con los alcances y las limitaciones de la técnica; y estar capacitado para realizar las actividades del nivel I, además de capacitar y supervisar a los individuos de este nivel; y realizar una correcta evaluación de los problemas existentes en instalaciones y equipos eléctricos y mecánicos.
- Nivel III: Está enfocado a la administración de un programa de los procedimientos de trabajo termográficos, conocimiento de otras técnicas de ensayos no destructivos y la formación. El individuo debe estar capacitado para realizar las actividades de los niveles I y II, y para capacitar y asesorar individuos en estos niveles; debe tener un conocimiento general sobre los materiales, métodos y tecnologías de fabricación que le permitan

establecer técnicas o procedimientos de trabajo termográfico; y debe asesorar en cuanto criterios de aceptación en caso de que no estén definidos.

8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TERMOGRAFIA INFRARROJA

Como ya se ha mencionado anteriormente, el uso de la termografía infrarroja en procesos industriales, presenta una serie de ventajas frente a otras técnicas de mantenimiento, evaluación y medición. Algunas de las cuales se muestran a continuación.

8.1 VENTAJAS

- La medición se realiza sin contacto con el objeto, lo cual permite inspeccionarlo en condiciones normales de trabajo, sin necesidad de suspender el funcionamiento del mismo.
- Sus sensores poseen un tiempo de respuesta muy corto a la radiación térmica, permitiendo al sistema obtener una imagen termográfica en pocos segundos, siendo muy útil en el estudio de transitorios. La imagen termográfica registrada puede analizarse posteriormente, para ser tratada o procesada con software especializado.
- Al ser un método no invasivo, no se interfiere en el proceso que se analiza, ni modifica la temperatura original del inspeccionado, obteniendo resultados sencillos de analizar e interpretar.
- Este método facilita la observación y medición de elementos móviles, además permite medir con seguridad, altas temperaturas o bien registrar las temperaturas de una línea de alta tensión, es decir facilita las mediciones en ambientes peligrosos.
- Debido al corto tiempo que se requiere en una inspección, no se desperdicia este revisando equipos y componentes que estén en buenas condiciones, identificando rápida y directamente a aquellos equipos y componentes problema, para monitorearlos por un periodo de tiempo y programar las acciones respectivas.
- Este método posee un amplio rango de temperaturas de trabajo y una excelente resolución, la cual es de aproximadamente 0.1°C.

- Es de resaltar que este tipo de medición permite reducir la tasa de siniestros, mediante un análisis no destructivo de los equipos o componentes, determinando fallas o mal estado los cuales no son detectados por métodos de medición tradicionales, trayendo como un beneficio adicional la extensión de la vida útil de los equipos.
- Este tipo de tecnología para la medición de temperatura posee un número creciente de campos de aplicación.

8.2 DESVENTAJAS

Aún cuando el uso de la termografía presenta grandes ventajas, es también de gran importancia conocer las desventajas que posee, para realizar una elección clara respecto a su utilización.

- La principal desventaja que se observa en este tipo de medición es su alto valor de inversión inicial, resultando esto definitivo en el momento de decidir su implementación.
- Este método predice y detecta fallas o calentamientos elevados, no se encarga de corregirlos.
- Ya que este método se encarga de sensar temperaturas, cuando se presenta una anomalía que no manifieste una elevación de la temperatura, esta pasará inadvertida en la medición.

La termografía infrarroja permite de una manera rápida determinar el estado de un sistema, además, el de los elementos que lo componen, minimizando los riesgos para los operarios y generando una reducción de costos a largo plazo.

9. TENDENCIAS Y FUTURO DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA

La implementación de la termografía infrarroja, al igual que la de toda nueva tecnología, en sus inicios era tan costosa que sólo era utilizada por las grandes empresas productoras, en la industria militar y por algunos particulares que tenían el dinero para acceder a ella. Con el pasar de los años los distintos campos de la industria vieron la necesidad de utilizarla en áreas de seguridad industrial y domestica, conducción nocturna, calidad de producción, medicina, búsqueda y rescate, aplicaciones marítimas, industria aeronáutica, inspección de edificios, etc.; lo que trajo como consecuencia una masificación y reducción de costos.

El gran avance tecnológico en cuanto a elementos de programación y computación ha hecho que la capacidad de los equipos para medir temperaturas o discernir las diferencias entre temperaturas sea mayor y que tengan distintas aplicaciones con respecto a su utilización. La tarea está en el termógrafo, quien debe esforzarse un poco y dejar volar la imaginación para hacer una buena evaluación de la imagen tan completa que pueda ser generada por una cámara. Esta continua mejora en las cámaras ha hecho que cada vez más se esté incorporando su uso en un sin número de campos de aplicación (mencionados en ítems anteriores) y que se esté incrementando el uso en los campos donde ya se utilizaban.

El gran impacto que genera la termografía infrarroja en cuanto a reducción de costos y tiempo en producción (véase anexo C que muestra un ejemplo de cómo el implementar esta tecnología pudo mejorar en gran manera las finanzas en una empresa, debido a que puede hacer más eficaces los procesos); disminución de riesgo de vida de las personas tanto en el área industrial como doméstico; diagnostico y control de enfermedades; beneficios ambientales, ya que genera reducción en daños en equipos que anteriormente terminaban en un basural contribuyendo a la contaminación o daños en estructuras de edificación que puedan ser irreparables, además de permitir la detección de aire contaminado;

mejoramiento de la calidad de productos y optimización de procesos; en actividades de rescate tanto en agua, tierra o fuego, y en habilidades de visualización nocturna; sin duda alguna hará que cada vez más los consumidores creen el interés de adquirir esta tecnología, ocasionando en un futuro no muy lejano una reducción significativa en los precios que permitirá la asequibilidad a mas consumidores.

Se puede afirmar, entonces sin temor a equivocación que dentro de unos años en las mayoría de las casas haya un sistema de alarmas que utilice termografía infrarroja para detección de intrusos y anomalías, que cada policía, bombero o vigilante de seguridad tenga su propia cámara, que la mayoría de los sistemas de transportes estén equipados con un sistema de visualización nocturna, que no haya empresa que no tenga implementada esta tecnología y haya un campo en las universidades para desarrollar termógrafos expertos en el desarrollo de técnicas especializadas para las distintas aplicaciones de esta tecnología.

Después de todo así como la telefonía celular y el internet son las mejores herramientas en un mundo donde todo está regido por las comunicaciones; de igual manera la termografía infrarroja es la mejor herramienta para un mundo donde todo proceso está regido por transferencia de energía.

El mundo es un radiador gigante todo a nuestro alrededor es energía y sólo los ojos de los termógrafos lo pueden ver, esa es una gran razón para afirmar que el futuro de esta tecnología es muy brillante y sus oportunidades ilimitadas.

10. CONCLUSIONES

- La implementación de la termografía infrarroja en los diferentes campos de la industria, permite obtener mediciones rápidas, realizar evaluaciones no destructivas (y no invasivas), utilizando su principio básico de control y estimación de cambios térmicos en una superficie. Por esta razón, esta tecnología se presenta como una muy buena alternativa para la realización de mantenimiento predictivo y preventivo.
- La inversión necesaria para la implementación de mediciones termográficas es un poco elevada, pero hay que tener en cuenta, que sus beneficios y eficacia no se hacen esperar, retribuyendo dicha inversión inicial, es decir, se justifica en beneficios como: Identificar problemas y funcionamientos anómalos, evitar los llamados paros no programados, obteniendo una reducción considerable en costos debidos a paros de equipo, reparaciones de gran magnitud y no programadas. Alargar la vida útil de equipos y componentes, mediante un monitoreo continuo, siendo parte de un correcto plan de mantenimiento.
- La termografía infrarroja realiza mediciones de tipo bidimensional, por lo que permite realizar mediciones en diferentes áreas y secciones de un mismo cuerpo o equipo; lo que plantea una gran ventaja en la mayoría de procesos, no solo a nivel industrial, en los que es necesario registrar la temperatura en toda una superficie.
- La termografía es una de las mejores formas de evaluar la calidad en materiales, ya que lo hace de forma no destructiva y sin emitir radiaciones dañinas o peligrosas para el operario, teniendo en cuenta que solo reconoce defectos que lleven consigo variaciones térmicas.

- Es muy importante que las universidades desarrollen aportes documentales e investigativos acerca de la utilización de la termografía infrarroja en las áreas de, ensayos no destructivos y diagnósticos médicos, entre otras; de manera que permita, a la comunidad universitaria y a las industrias relacionadas, conocer los beneficios que trae su implementación y desarrollar conjuntamente proyectos que permitan aprovechar al máximo esta tecnología.
- La termografía infrarroja se encuentra en una etapa de crecimiento, en nuestro país, especialmente en las áreas médicas y de mantenimiento las diferentes áreas de los procesos productivos. Así, aunque la termografía infrarroja es utilizada en la mayoría de los casos como herramienta para el mantenimiento preventivo y predictivo, se proyecta desde ahora como un ayudante en el mejoramiento de los procesos y los productos en diferentes campos del conocimiento y la aplicación.

11. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Es de vital importancia promover la simbiosis entre la academia y la industria, a fin de poder implementar la termografía infrarroja en los diferentes campos industriales, obteniendo beneficios para las dos partes y un crecimiento para la región y el país. Ver anexo A.
- Se espera que este y estudios similares, permitan abrir paso a la creación de una línea de investigación en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga que se enfoque en la búsqueda y desarrollo de soluciones en ingeniería con ensayos no destructivos (especialmente en el área de termografía infrarroja), para empresas que lleven a cabo cualquier actividad en el sector industrial con el fin de realizar una optimización de sus procesos y mejoramiento en la calidad de sus productos.

12. BIBLIOGRAFIA

- [1] www.AAENDE.org.ar
- [2] www.termografia.com.mx/Termografia-Mexico.html
- [3] <http://es.scribd.com/doc/36679442/Aplicaciones-de-la-Termografia-Infrarroja>
- [4] CONTRIBUCIONES A LAS TECNICAS NO DESTRUCTIVAS PARA LA EVALUACIÓN Y PRUEBA DE PROCESOS Y MATERIALES BASADAS EN RADIACIONES INFRARROJAS-Daniel Aquilino González Fernández, Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, 19 de Diciembre 2006.
- [5] <http://www.flir.com>
- [6] GUIA BASICA A LA TERMOGRAFIA INFRARROJA- LAND INSTRUMENTS INTERNATIONAL- ENGLAND – 2004.
- [7] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
<http://www.iso.org/iso/home.html>
- [8] <http://www.e-termografia.com.ar/>
- [9] <http://www.fluke.com>
- [10] <http://www.qtecnologias.com/Termoportatil.html>
- [11] <http://www.pce-iberica.es>
- [12] <http://termografia.wordpress.com>
- [13] <http://impic.wordpress.com>
- [14] <http://www.diarioelectronicohoy.com>
- [15] <http://www.inspeccionestermograficas.es>
- [16] TERMOGRAFIA- Una tecnología preparada para conquistar el mundo, Historia de la aplicación – FLIR.

[17] NO ES LA FRUTA BAJITA DE LA TERMOGRAFIA DE RAYOS INFRARROJOS, Gregory R. Stockton Trabajo presentado en la Conferencia de Soluciones Termas de Snell - Indianapolis, Indiana, USA, Junio, 2000

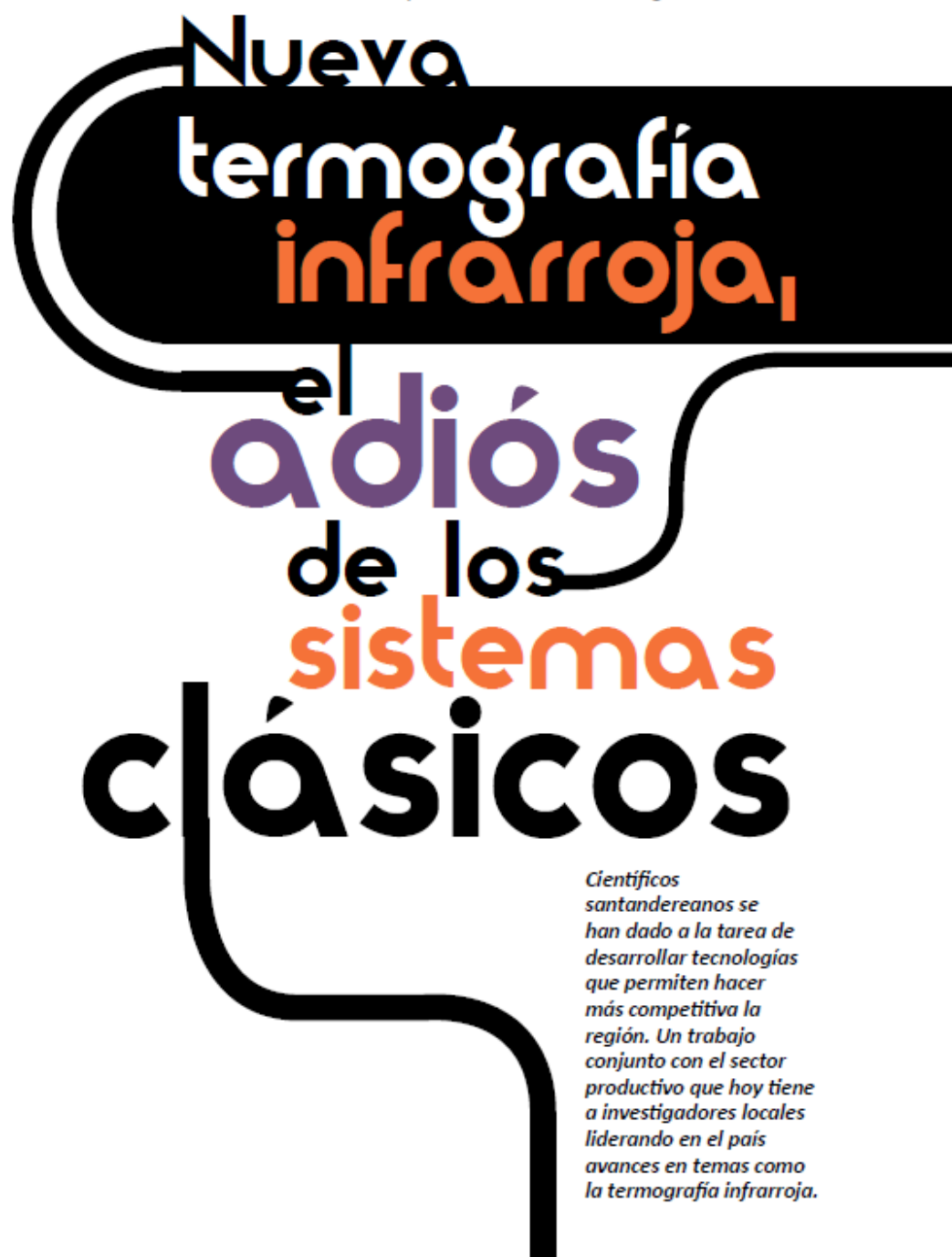
[18] LOS 10 ERRORES QUE NO SE DEBEN COMETER EN SU PROGRAMA DE TERMOGRAFIA, Ricardo Santamaría Hólek- Tecnología Avanzada para mantenimiento S.A.

13. ANEXOS

13.1 ANEXO A

16

Científicos santandereanos aumentan potencial de una tecnología de uso mundial



Los proyectos de investigación abordados entre empresarios, académicos y el Estado buscan, entre estos aspectos, generar confianza y, cuando hay confianza hay capacidad de respuesta.

Todas las tecnologías se inventan, se adaptan y se perfeccionan. Un grupo de científicos santandereanos incursionaron en una de ellas, la termografía infrarroja, enriqueciendo su uso, haciéndola más valiosa y atractiva para científicos y empresarios. Los artífices de estos adelantos fueron los integrantes del grupo de investigación en Conectividad y Procesado de Señal – CPS – de la Universidad Industrial de Santander, quienes atendiendo a una convocatoria de una empresa del sector productivo, Interconexión Eléctrica S.A. – ISA –, dieron inicio no sólo al desarrollo de nuevas técnicas, sino también a una relación fructífera.

Según explica Óscar Gualdrón González, director del grupo de investigación, las subestaciones eléctricas tienen equipos de patio que operan de forma permanente. En ellas, una evaluación constante resulta fundamental para garantizar la continuidad del servicio a los usuarios. Para inspeccionar estos equipos se hace necesario el uso de técnicas que, por un lado, no impliquen sacarlos de su operación normal y, por otro, permitan, de forma segura, realizarlas

por parte del personal a cargo.

En este proceso, la termografía juega un papel importante porque ofrece características adecuadas para hacer dicha inspección de equipos como bujes, transformadores de potencial, transformadores de corriente y pararrayos, entre otros.

El trabajo de este grupo de investigadores permitió el desarrollo de estas técnicas, aprovechando al máximo los aspectos de los registros termográficos que sobre los equipos se hicieron.

En la búsqueda del gran paso

Un sueño comparten los investigadores del CPS de la UIS: lograr que sus investigaciones y desarrollos tecnológicos cosechen triunfos de talla internacional, poco a poco, el sueño se está haciendo realidad.

Uno de los inicios consistió en el desarrollo de un protocolo de registro termográfico, para lograr que las imágenes, obtenidas durante las visitas a las subestaciones de ISA guardaran uniformidad. Además, durante el trabajo con esta empresa se



desarrolló un sistema de procesamiento de imágenes que se complementó con otro sistema experto. Así pudieron diagnosticar algunas condiciones de fallo de los equipos de ISA, elementos que sirvieron para conocer cuáles serían las acciones que debería tomar la empresa, de acuerdo con normas internacionales sobre las condiciones térmicas en las que deben estar dichos equipos.

Los investigadores explican que estas técnicas se enmarcan dentro de lo que se conoce como mantenimiento preventivo o sencillamente anticiparse a las fallas.

Más allá de detectar los puntos calientes que un termógrafo usualmente descubre, las investigaciones del CPS permitieron detectar patrones críticos de los equipos, los cuales se pueden identificar antes que la condición del equipo llegue a dicho punto.

El desarrollo de esta técnica no invasiva, que permite hacer operaciones a distancia, llevó cerca de dos años a los investigadores, quienes

resaltan que uno de los mejores resultados de la investigación es la consolidación de las relaciones entre el grupo de investigación y la empresa.

El desarrollo

Para desarrollar este proyecto, los investigadores del CPS, profesores, estudiantes de pregrado y posgrado, debieron, además de desarrollar protocolos, desarrollar software especializado para la lectura de las imágenes termográficas. Herramientas informáticas necesarias para que se pudieran decodificar las imágenes que tomaba una cámara especial, para cuya adquisición, entre otras cosas, fue necesario que los proveedores de la misma solicitaran un permiso al Departamento de Defensa de los Estados Unidos, por tratarse de una tecnología restringida. El tratar de aislar los componentes termográficos de cada fotografía fue un reto para los científicos, quienes debieron descomponer en bloques cada objeto de las imágenes, todo con el ánimo de hacer el mejor análisis

posible. Y la tarea se cumplió. Los investigadores lograron presentar con éxito su avance. Por parte de la empresa ISA, la técnica aún se encuentra en fase de preparación para su implementación.

Óscar Gualdrón manifiesta que en el proyecto denominado Evaluación y análisis de la condición de equipos de Alta Tensión mediante imágenes termográficas, se destacan dos puntos:

El primero de ellos que fue una experiencia bastante importante que permite consolidar la relación entre la empresa y la academia. Es así como, a partir de este proyecto, este año el CPS continuará trabajando con ISA.

Por otra parte, el investigador destaca que la investigación dentro de los procesos administrativos de la empresa empieza a formar parte de los indicadores de gestión de quienes integran la organización, por lo cual los trabajos con la academia dejan de ser procesos extras.



En Colombia, los proyectos de investigación que se desarrollan conjuntamente con el sector productivo pueden representar para las empresas una deducción de impuestos que en Colombia puede llegar a valores superiores al mismo monto total del proyecto. Esto siempre y cuando los trabajos se desarrollen con instituciones académicas reconocidas y tengan el aval de Colciencias. Así que, además de poseer la tecnología, también ganan prestigio y ahorran dinero.

¿Por qué son importantes las relaciones entre las universidades, el Estado y las empresas?

Óscar Gualdrón: "Entre otras dimensiones, para mejorar la competitividad de una región. Gracias a la ciencia, la tecnología y la innovación se ha logrado posicionar en los empresarios la necesidad de un mejor desarrollo de sus productos y servicios. Estas experiencias sirven para que otros empresarios y académicos aprendan de ellas, para que se generen nuevas y productivas relaciones e incluso para propiciar el desarrollo de nuevos sectores. Santander tiene muchas áreas para desarrollar industria, para que surjan nuevas empresas con valores agregados, así como para que las ya existentes se consoliden".



La termografía se utiliza, por ejemplo, para diagnosticar motores eléctricos, de combustión, zonas de calentamiento, en circuitos electrónicos y en el campo de la salud, entre otras áreas.

Para mejorar, para destacar

- Para mejorar: el respaldo constante en evaluación por parte de la empresa.
- Para destacar: los recursos asignados por parte de la empresa para desarrollar el proyecto. La credibilidad en el grupo de investigación.

13.2 ANEXO B



PRÁCTICAS TERMOGRÁFICAS RECOMENDADAS POR LA ASTM INTERNATIONAL

ASTM C1060 - 90(2003)

Práctica estándar para la inspección termográfica de las instalaciones del aislamiento en cavidades del sobre de los edificios del marco

Significación y uso

Aunque los sistemas infrarrojos de la proyección de imagen tienen el potencial de determinar muchos factores referentes al funcionamiento termal de una pared, de una azotea, de un piso, o de un techo, el énfasis en esta práctica es en la determinación de si el aislamiento falta o de si está funcionando incorrectamente una instalación del aislamiento. Las imágenes termales anómalas de otras causas evidentes se pueden también registrar como información suplemental, aun cuando su interpretación puede requerir los procedimientos y las técnicas no presentados en esta práctica.

1. Alcance

1.1 Esta práctica es una guía al uso apropiado de los sistemas infrarrojos de la proyección de imagen para conducir inspecciones termales cualitativas de las paredes del edificio, techos, azoteas, y pisos, enmarcados en la madera o el metal, que pueden contener el aislamiento en los espacios entre los miembros que enmarcan. Este procedimiento permite la detección de las cavidades donde el aislamiento puede ser inadecuado o inexistente y permite la identificación de áreas con el aislamiento al parecer adecuado.

1.2 Esta práctica ofrece los medios confiables para detectar la falta de aislamiento o defectuoso. También ofrece la posibilidad de detectar el grosor del aislamiento, el aislamiento incorrectamente instalado, o el aislamiento dañado en servicio. La prueba del aislamiento que falta o de un sobre que funciona incorrectamente requiere la validación independiente. Técnicas de la validación, tales como inspección visual o "in-situ" la medida del valor " R" , están más allá del alcance de esta práctica.

1.3 Se limita esta práctica de enmarcar la termografía de la construcción aun cuando se puede utilizar en todos los tipos del edificio.

1.4 La instrumentación y la calibración requeridas bajo variedad de condiciones ambientales se describen. Los requisitos de la instrumentación y los procedimientos de la medida se consideran para las inspecciones tanto en el interior como en el exterior de la estructura. Cada posición ventajosa ofrece el acceso visual a las áreas ocultas del otro lado.

1.5 Los valores indicados en unidades del SI deben ser mirados como estándar. Las unidades de libra-pulgada dadas entre paréntesis están para la información solamente.

1.6 Este estándar no pretende tratar todas las preocupaciones de seguridad, si las hay, asociadas a su uso. Es la responsabilidad del usuario de este estándar establecer prácticas apropiadas de seguridad y de la salud y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes de uso. Particularmente, la precaución se debe tomar en la dirección de cualesquiera líquidos criogénicos o gas presurizado requeridos para el uso en esta práctica. Las declaraciones preventivas específicas se dan en la nota 1 y la nota 3.

2. Documentos referidos

C168 Terminología referente al aislamiento termal.
E1213 Prueba del método para el análisis y resolución de la diferencia mínima de la temperatura de los sistemas termales de la proyección de imagen.

ASTM C1153 - 97(2003)

Practica estándar para la localización del aislamiento mojado en sistemas de material para techos usando la proyección de imagen infrarroja

ASTM C1153 Significación y uso

Esta práctica se debe utilizar para contornear los elementos y las condiciones necesarios mínimos para obtener una determinación exacta de la localización del

aislamiento mojado en sistemas de material para techos usando la proyección de imagen infrarroja.

Esta práctica no se significa para ser un documento educacional o de proporcionar todo el conocimiento y fondo necesarios para proporcionar un análisis exacto. Para la información adicional, vea el estándar 101 de ANSI-ASHRAE e ISO/DP 6781.3E.

Esta práctica no proporciona métodos para determinar la causa de la humedad o su punto de la entrada. No trata la conveniencia de ningún sistema particular a la función capaz como impermeabilizando.

1. Alcance

1.1 Esta práctica se aplica a las técnicas que emplean la proyección de imagen infrarroja en la noche para determinar la localización del aislamiento mojado en los sistemas de material para techos que tienen aislamiento sobre la cubierta en contacto con la impermeabilización. Esta práctica incluye inspecciones terrestres y aéreas. (Advertencia - La precaución debe ser tomada en la manipulación de cualesquiera líquidos criogénicos y gas presurizado requeridos para el uso en esta práctica.) (Advertencia - La precaución extrema se debe tomar al tener acceso o caminando en la azotea y con las vistas aéreas a baja altitud, especialmente en la noche.) (Es una buena práctica de seguridad por lo menos dos personas estar presente en la superficie de la azotea siempre cuando se están conduciendo las inspecciones terrestres.)

1.2 Esta práctica trata los criterios para el equipo infrarrojo para analizar y resolver tal como diferencia mínima de la temperatura, gama espectral, campo visual instantáneo IFOV, y campo visual FOV.

1.3 Esta práctica trata las condiciones meteorológicas bajo las cuales las inspecciones infrarrojas deben ser realizadas.

1.4 Esta práctica trata el efecto de la construcción de la azotea, de las diferencias materiales, y de las condiciones de la azotea en las inspecciones infrarrojas.

1.5 Esta práctica trata procedimientos de funcionamiento, calificaciones del operador, y prácticas de funcionamiento.

1.6 Esta práctica también trata la verificación de los datos infrarrojos usando métodos invasores de la prueba.

1.7 Los valores indicados en unidades del SI deben ser mirados como estándar.

1.8 Este estándar no pretende tratar todas las preocupaciones de seguridad, si las hay, asociadas a su uso. Es la responsabilidad del usuario de este estándar

establecer prácticas apropiadas de seguridad y de la salud y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes de uso. Las declaraciones preventivas específicas se dan en 1.1.

2. Documentos referidos

C168 Terminología referente al aislamiento termal.
D1079 Terminología referente el material para techos, la impermeabilización, y a materiales bituminosos.
E1149 Definiciones de términos referentes a NDT por el Termografía infrarroja
E1213 Prueba del método para el análisis y resolución de la diferencia mínima de la temperatura de los sistemas termal de la proyección de imagen.
ANSI-ASHRAE Standard101-Aplicación de los dispositivos de detección infrarrojos al gravamen de las características de la pérdida de calor del edificio.
ISO/DP 6781.3E-Termal Detección Aislamiento-Cualitativa de irregularidades termal en el método Sobre-Infrarrojo del edificio.

ASTM D4788 - 03(2007)

Método estándar de la prueba para detectar delaminaciones en cubiertas del puente usando el Termografía infrarroja.

Significación y uso

Este método de la prueba se puede utilizar conjuntamente con otros métodos de la prueba en la determinación de la condición general de una cubierta del puente.

Las áreas indicadas como delaminadas en cubiertas del puente superpuesto pueden ser una indicación de la carencia del enlace entre el recubrimiento y la cubierta subyacente del puente. Este método de la prueba puede ser utilizado en la determinación de áreas específicas de las delaminaciones que requieren la reparación.

1. Alcance

1.1 Este método de la prueba cubre la determinación de delaminaciones en cubiertas concretas del puente del Portland-cemento usando el termografía infrarroja. Este método de la prueba se piensa para el uso en cubiertas concretas expuesto y del superpuesto del puente.

1.2 Una precisión y una declaración diagonal no se ha desarrollado en este tiempo. Por lo tanto, este estándar no se debe utilizar para la aceptación o el rechazo de un material para comprar propósitos.

1.3 Este método de la prueba utiliza un video infrarrojo del explorador de la proyección de imagen y, montado en un vehículo, para detectar delaminaciones y áreas despegadas en cubiertas del puente y para registrar la información.

Nota 1 . Este método de la prueba se puede utilizar en el asfalto o los recubrimientos concretos tan gruesos como 4 pulg. (100 milímetros).

Los valores indicados en unidades de la libra-pulgada deben ser mirados como el estándar.

1.5 Este estándar no pretende tratar todas las preocupaciones de seguridad, si las hay, asociadas a su uso. Es la responsabilidad del usuario de este estándar establecer prácticas apropiadas de seguridad y de la salud y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes de uso.

2. Documentos referidos

D4580 Práctica para las delaminaciones que miden en cubiertas concretas del puente sonando

ASTM C1046 - 95 (2007)

Practica estándar para la medida "in-situ" del flujo del calor y la temperatura en componentes del sobre del edificio

1. Alcance

1.1 Esta práctica cubre una técnica para usar los transductores del flujo del calor (HFTs) y los transductores de la temperatura (TTs) en medidas del comportamiento termal dinámico o de estado estacionario "in-situ" de componentes opacos de los sobres del edificio. Los usos para tales datos incluyen la determinación de resistencias termales o de las constantes termales del tiempo. Sin embargo, tales aplicaciones están más allá del alcance de esta práctica (para la información sobre la determinación de resistencias termales, vea la práctica C 1155).

1.2 Utilice la termografía infrarroja con esta técnica para localizar los sitios apropiados para HFTs y TTs (de aquí en adelante llamados los sensores), a menos que se sepan las condiciones del subsuelo.

1.3 Los valores indicados en unidades del SI deben ser mirados como el estándar. Los valores dados entre paréntesis están para la información solamente.

1.4 Este estándar no pretende tratar todas las preocupaciones de seguridad, si las hay, asociadas a su uso. Es la responsabilidad del usuario de este estándar

establecer prácticas apropiadas de seguridad y de la salud y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes de uso.

2. Documentos referidos

C1060 Práctica para la inspección termográfica de las instalaciones del aislamiento en cavidades del sobre de los edificios del marco.
C1130 Práctica para calibrar los transductores finos del flujo del calor
C1153 Práctica para la localización del aislamiento mojado en sistemas de material para techos usando la proyección de imagen infrarroja.
C1155 Práctica para determinar la resistencia termal de los componentes del sobre del edificio de los datos "in-situ".
C168 Terminología referente al aislamiento termal.
C518 Prueba el método para las características termales de estado estacionario de la transmisión por medio del aparato del metro del flujo del calor.

ASTM E1934 - 99a (2005)

Guía estándar para examinar el equipo eléctrico y mecánico con el Termografía infrarroja.

Significación y uso

Esta guía se puede utilizar por un usuario final para especificar las inspecciones infrarrojas del equipo eléctrico y mecánico y que un termógrafo infrarrojo debe realizar.

El propósito de una inspección infrarroja es identificar posibles defectos los sistemas eléctricos o mecánicos y documentarlos para del usuario final, o ambas.

1. Alcance

1.1 Esta guía enumera las responsabilidades comunes del usuario final y del termógrafo infrarrojo al usar la termografía infrarroja.

1.2 Esta guía contornea el contenido específico requerido documentar inspecciones infrarrojas cualitativas y cuantitativas del equipo eléctrico y mecánico

1.3 Esta guía puede implicar el uso del equipo y de los materiales en presencia de equipo eléctricamente energizado o en movimiento.

4.3.1 En el equipo eléctrico, los defectos calientes son creadas generalmente por un aumento en la resistencia causada por las conexiones flojas o deterioradas, los

cortocircuitos, las sobrecargas, los desequilibrios de la carga o los componentes defectuosos, unidos mal o incorrectamente instalados. Los defectos fríos son causados generalmente por los componentes estropeados.

4.3.2 En el equipo mecánico, los defectos calientes son creados generalmente por la fricción causada por la lubricación incorrecta, el desalineamiento, componentes usados o anomalías mecánicas del cargamento. Los defectos fríos son causados generalmente por los componentes estropeados.

4.3.3 Los defectos en sistemas del aislamiento son causados generalmente por la falta o por los materiales deteriorados, instalación incorrecta o cantidades escasas de material.

Proporcionando opiniones sobre las causas de defectos, la integridad del equipo o las recomendaciones para las acciones correctivas requiere conocimiento y habilidades más allá de la termografía infrarroja.

Las inspecciones infrarrojas proporcionan datos sobre el equipo a la hora de la inspección solamente.

Las inspecciones infrarrojas no son remediadoras.

Una inspección infrarroja del equipo eléctrico y mecánico no asegura su operación apropiada. Otras pruebas y el mantenimiento apropiado son necesarios para asegurar su funcionamiento confiable.

13.3 ANEXO C

IMPORTANCIA DE LA IMPLEMENTACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON TERMOGRAFIA

Durante los últimos años, la termografía infrarroja ha ganado gran aceptación como la manera más idónea de inspeccionar dispositivos, sistemas y procesos, su correcto funcionamiento y deficiencias en estos. La anterior es una aplicación básica de la termografía, es la más ofrecida por los proveedores de este tipo de tecnología, pero la mayoría de nosotros sabemos que no es la única, por el contrario existen muchos usos más de la termografía infrarroja. A continuación se muestra un ejemplo de la eficiencia y beneficio que ofrece la termografía infrarroja con su implementación, tomado del artículo "*No es la Fruta Bajita de la Termografía de Rayos Infrarrojos*", presentado en la conferencia de soluciones termales de Snell en el año 2000, escrito por Gregory Stockton.

"A manera de discusión, digamos que existe una planta que opera las 24 horas del día, siete días a la semana y nunca ha realizado una encuesta infrarroja y como resultado sufre de fallas el 3% del tiempo. Un termógrafo motivado e inteligente establece un programa de inspecciones de mantenimiento de diagnóstico a base de tecnología infrarroja. La gerencia y el personal de mantenimiento apoyan totalmente el programa y resulta ser todo un éxito. El tiempo útil de producción sube del 97% al 99.5%. Esto representa una enorme cantidad de dinero; los ahorros económicos se calculan en \$400.000 por año. La misma planta tiene 20 unidades de maquinaria. Cada una produce anualmente 100.000 artefactos mecánicos. Un ingeniero de producción convence al termógrafo de que invierta varios días de su valioso tiempo chequeando la máquina #12. Trabajan juntos y encuentran y resuelven algunos problemas. La máquina #12 produce ahora 10%

más rápido con un 10% de desperdicios en la entrega de los productos. Las otras 19 máquinas se ajustan también y la planta alcanza 10% de mayor rapidez con un 10% de desperdicio. Los ahorros económicos son de \$4.000.000, los cuales representan 10 veces más la cantidad ahorrada usando el programa de inspección infrarroja. Simplemente, hay mas ahorros económicos en el área de equipos de producción”.

Así, si tomamos en cuenta el ejemplo planteado el dicho documento, tendremos una mejor idea de los beneficios que puede tener, en cualquier tipo de industria, la aplicación de técnicas de mantenimiento predictivo y preventivo, especialmente de las que se refieren a ensayos no destructivos, como la termografía infrarroja.

13.4 ANEXO D

FACTORES QUE INFLUYEN EN UNA MEDICION TERMOGRAFICA

Revisando la sección que trata sobre las ventajas, beneficios y desventajas de la implementación de la termografía infrarroja como una tecnología de medición térmica, nos encontramos con el artículo de Ricardo Santamaría Holek, presentado en el VI congreso Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento, el cual se titula *“Los 10 errores que no se deben cometer en su programa de termografía”*, el cual, como su nombre lo indica resume las equivocaciones que se cometen más frecuentemente al utilizar este tipo de tecnología y lo sintetiza en 10 ítems. A continuación se muestran algunos de los apartes de dicho documento que se consideran pueden ayudar en la utilización y aplicación de la termografía infrarroja.

Dicho documento plantea que los 10 errores que no se deben cometer en un programa de mantenimiento basado en la implementación de la termografía infrarroja son:

- Teoría básica del infrarrojo

“Se deben conocer los principios y conceptos básicos de la teoría de transferencia de calor”.

- Instrumentación

“Esta sección trata de las cámaras termográficas y su uso” se debe hacer una correcta selección del equipo a utilizar.

- Resolución y óptica

“La resolución visual afecta, la claridad con la que podemos ver los componentes o equipos bajo estudio”.

- Rango de temperatura y sensibilidad térmica

“Los problemas pueden pasar desapercibidos por el termografista, si no hace una selección apropiada de los rangos de temperatura y la sensibilidad de la cámara”.

- Perspectiva

“Usar una perspectiva adecuada es desde luego muy conveniente, pero es mucho más crítica para nuestro diagnóstico. Una vez identificado el

problema, este debe ser revisado desde varias perspectivas para obtener más información y confirmar nuestro diagnóstico”.

- Puntos fríos

“En las inspecciones no siempre se buscan puntos calientes, en ocasiones las zonas aparentemente frías indican un problema o mal funcionamiento”.

- Reportes

“La elaboración de los reportes de inspección, es lenta y laboriosa”.

Se deben especificar con antelación los alcances esperados y los potenciales problemas a encontrar; para esto es de gran utilidad el registro de históricos que posea la empresa.

- Capacitación y certificación

“Podemos mencionar que es un grave error, adquirir un equipo termográfico y no asignar suficiente presupuesto para la capacitación profesional del personal”.

- Desconocer las responsabilidades del inspector termografista

“Tanto el usuario o cliente del servicio de inspección termográfica, como el director termografista, deberán conocer las responsabilidades que implica la ejecución de las inspecciones termográficas”.

- Nueve pasos fundamentales para implantar un programa de mantenimiento predictivo basado en inspecciones termográficas. El autor del documento sugiere algunos pasos sencillos que considera como indispensables al realizar una inspección termográfica:

- Preguntarse ¿Que voy a inspeccionar?
- Hacer un listado de la maquinaria a inspeccionar
- Asignar frecuencias de inspección
- Definir límites de temperatura
- Realizar las inspecciones
- Generar una orden de trabajo
- Realizar una re-inspección de todas las reparaciones
- Documentar los ahorros y/o costos evitados
- Hacer un análisis de causa-raíz

