

FLUKE®

Creado en cooperación
entre Fluke Corporation
y The Snell Group

Introducción a

los principios de la termografía



AMERICAN TECHNICAL PUBLISHERS, INC.
ORLAND PARK, ILLINOIS 60467-5756



Esta Introducción a los principios de la termografía contiene procedimientos que son práctica común en el sector y en el gremio. Los procedimientos específicos varían con cada tarea y debe llevarla a cabo personal cualificado. Para mantener la máxima seguridad, consulte siempre las recomendaciones del fabricante, la normativa sobre seguros, el lugar de trabajo específico y los procedimientos de la planta, la regulación estatal, autonómica o local, y cualquier autoridad competente. El material aquí contenido tiene el objeto de servir como recurso educativo al usuario. Ni American Technical Publishers, Inc., ni Fluke Corporation, ni The Snell Group asumen responsabilidad alguna respecto a reclamaciones, pérdidas o daños, entre otros, daños a la propiedad o lesiones personales, en los que se pueda incurrir al hacer uso de esta información.

© 2009 American Technical Publishers, Inc., Fluke Corporation y The Snell Group.
Reservados todos los derechos

1 2 3 4 5 6 7 8 9 – 09 – 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Impreso en los Países Bajos

ISBN 978-0-8269-1535-1





Introducción a los
principios de la termografía

CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN A LA TERMOGRAFÍA POR INFRARROJOS Y A LAS CÁMARAS TERMOGRÁFICAS	1
	<i>Termografía por infrarrojos • Historia de la termografía por infrarrojos • Funcionamiento de las cámaras termográficas</i>	
2	TERMOGRAFÍA E INVERSIÓN RENTABLE	9
	<i>Resolución de problemas</i>	
3	FORMACIÓN Y SEGURIDAD	13
	<i>Cualificación y certificación del termógrafo • Seguridad en el lugar de trabajo • Redacción de normas y procedimientos de inspección</i>	
4	TEORÍA APLICADA A LA PRÁCTICA	19
	<i>Termodinámica básica • Métodos de transferencia de calor • Precisión de la medida de temperaturas</i>	
5	IMÁGENES TÉRMICAS EN COLOR DE APLICACIONES	29
6	APLICACIONES TERMOGRÁFICAS	45
	<i>Aplicaciones eléctricas • Aplicaciones mecánicas y electromecánicas • Procesos industriales • Diagnóstico de edificios</i>	
7	METODOLOGÍAS DE INSPECCIÓN	57
	<i>Termografía comparativa • Termografía inicial • Tendencia térmica</i>	
8	ANÁLISIS, GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN	61
	<i>Análisis de inspección • Generación de informes y documentación</i>	
9	RECURSOS TERMOGRÁFICOS	63
	<i>Recursos</i>	
10	OTRAS TECNOLOGÍAS RELACIONADAS	65
	<i>Inspección visual y auditiva • Análisis eléctrico • Detección de ultrasonidos en aire • Análisis de vibraciones • Análisis de aceites lubricantes • Análisis de partículas de desgaste</i>	
	ÍNDICE	67



*Introducción a los
principios de la termografía*

INTRODUCCIÓN

*Esta Introducción a los principios de la termografía, creada con la cooperación de Fluke Corporation y The Snell Group, está diseñada para servir de introducción a los principios y procedimientos del funcionamiento de las cámaras termográficas. Las cámaras termográficas se han convertido en herramientas de diagnóstico y detección esenciales en la resolución de problemas y el mantenimiento preventivo para electricistas y técnicos en aplicaciones industriales, de procesos y comerciales. También son una herramienta clave para proveedores de servicios como ayuda en el desarrollo de sus negocios en relación al diagnóstico de edificios y las inspecciones industriales. *Introducción a los principios de la termografía* cubre los fundamentos de la teoría, funcionamiento y aplicación del uso de las cámaras termográficas.*

Se puede encontrar información adicional sobre instrumentos de medida, resolución de problemas, mantenimiento y aplicaciones para edificios a través de Fluke Corporation en www.fluke.com/thermography, The Snell Group en www.thesnellgroup.com y American Technical Publishers, Inc. en www.go2atp.com.

La editorial



INTRODUCCIÓN A LA TERMOGRAFÍA POR INFRARROJOS Y A LAS CÁMARAS TERMOGRÁFICAS

Las cámaras termográficas funcionan según los principios de la termografía por infrarrojos. Una cámara termográfica es un instrumento de comprobación que nos va a permitir la resolución de problemas, el mantenimiento y la inspección de sistemas eléctricos, sistemas mecánicos y cerramientos en edificios gracias a lo cual podremos ahorrar costes o incluso generar ingresos.

TERMOGRAFÍA POR INFRARROJOS

La termografía por infrarrojos es la ciencia que estudia el uso de dispositivos optoelectrónicos para detectar y medir la radiación a partir de la cual se obtiene la temperatura de las superficies bajo estudio. La radiación es la transferencia de calor que se produce en forma de energía radiante (ondas electromagnéticas) sin que exista un medio directo de transferencia. La termografía por infrarrojos moderna hace uso de dispositivos optoelectrónicos para detectar y medir a partir de la cual se obtiene la temperatura superficial de la estructura o del equipo inspeccionado.

El ser humano siempre ha sido capaz de detectar la radiación infrarroja. Las terminaciones nerviosas de la piel humana pueden responder a diferencias de temperatura de hasta $\pm 0,009^{\circ}\text{C}$. Aunque son extremadamente sensibles, las terminaciones nerviosas humanas no están bien diseñadas para la evaluación térmica no destructiva.

Por ejemplo, incluso si los humanos tuviéramos las mismas capacidades térmicas que los animales que son capaces de encontrar presas de sangre caliente en la oscuridad, es posible que todavía se necesitaran instrumentos de detección de calor de mayor precisión. Debido a que los humanos tienen limitaciones físicas para detectar el calor, se han desarrollado dispositivos mecánicos y electrónicos que son hipersensibles al calor. Estos dispositivos conforman el estándar

para la inspección térmica de un incontable número de aplicaciones.

HISTORIA DE LA TECNOLOGÍA INFRARROJA

A nivel semántico, la palabra “infrarrojo” deriva de “infra” y “rojo”, es decir por debajo del rojo, refiriéndose al lugar que ocupa esta longitud de onda en el espectro de la radiación electromagnética. El término “termografía”, a su vez, deriva de raíces semánticas que significan “imagen de la temperatura”. El inicio de la termografía se le atribuye al astrónomo alemán Sir William Herschel, quien en 1800 realizaba experimentos con la luz solar.



Con una cámara termográfica se puede detectar fácilmente la imagen térmica del calor residual transferido cuando colocamos una mano sobre la superficie de una pared pintada.

2 Introducción a los principios de la termografía

Herschel descubrió la radiación infrarroja haciendo pasar la luz solar a través de un prisma y midiendo la temperatura en los distintos colores obtenidos con un termómetro de mercurio sensible. Herschel descubrió que la temperatura se incrementaba cuando movía el termómetro más allá de la zona correspondiente a la luz roja en una zona que denominó como “calor negro”. El “calor negro” era la región del espectro electromagnético que actualmente se conoce como calor infrarrojo y se sabe que se trata de una radiación electromagnética.

Veinte años más tarde, el físico alemán Thomas Seebeck descubrió el efecto termoeléctrico. Esto condujo a la invención del “termomultiplicador”, una versión temprana del termopar, por el físico italiano Leopoldo Nobili en 1829. Este simple dispositivo de contacto se basa en la premisa de que la diferencia de tensión entre dos metales distintos cambia con la temperatura. El compañero de Nobili, Macedonio Melloni, pronto mejoró el termomultiplicador creando una termopila (un conjunto de termomultiplicadores en serie) y concentró la radiación térmica sobre esta de tal manera que pudo detectar el calor corporal desde una distancia de 9,1 m.

En 1880, el astrónomo americano Samuel Langley, utilizó el bolómetro para detectar el calor corporal de una vaca desde 304 m. En vez de medir diferencias de tensión, un bolómetro mide el cambio de resistencia eléctrica en función de la variación de la temperatura. El hijo de Sir William Herschel, Sir John Herschel, consiguió la primera imagen infrarroja en 1840 utilizando un dispositivo llamado “evaporígrafo”. La imagen termográfica era el resultado de la evaporación diferencial de una película fina de aceite que se observaba mediante el reflejo de la luz en la película de aceite.

Las *cámaras termográficas* son dispositivos que detectan patrones térmicos en el espectro de la longitud de onda infrarroja sin entrar en contacto directo con el equipo. **Consulte la figura 1-1.** Las primeras versiones de cámaras termográficas fueron conocidas como detectores fotoconductores. Entre 1916 y 1918, el inventor americano Theodore Case hizo experimentos con detectores fotoconductores para producir una señal a través de la interacción directa con fotones en vez de calor. El resultado fue un detector fotoconductor más rápido y sensible. Durante los años cuarenta y cincuenta, la tecnología termográfica avanzó para cumplir con los requisitos de un número creciente de aplicaciones militares. Científicos alemanes descubrieron que al enfriar el detector fotoconductor se mejoraba el rendimiento general del mismo.

No fue hasta la década de los sesenta cuando la termografía se utilizó en aplicaciones no militares. Aunque los primeros sistemas de termografía eran aparatosos, lentos en la adquisición de datos y de baja resolución, se utilizaron en aplicaciones industriales, por ejemplo, en la inspección de grandes sistemas de transmisión y distribución eléctrica. Los continuos avances en aplicaciones militares en los años setenta dieron lugar a los primeros sistemas portátiles, que podían emplearse en aplicaciones como el diagnóstico de edificios y comprobaciones no destructivas de materiales.

CONSEJO TÉCNICO

Las primeras versiones de las cámaras termográficas mostraban imágenes térmicas mediante el uso de tubos de rayos catódicos (CRT) en blanco y negro. Se podían obtener registros permanentes gracias al uso de fotografías y cintas magnéticas.

Cámaras termográficas

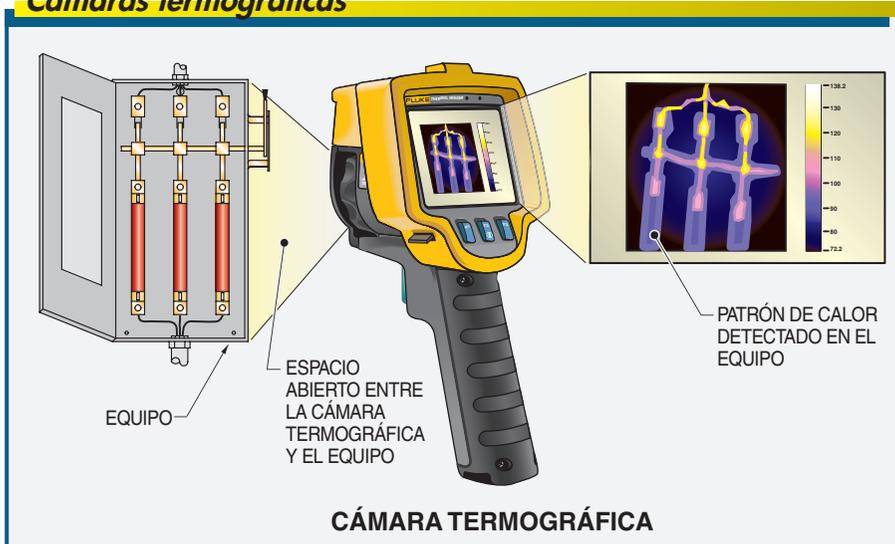


Figura 1-1. Las cámaras termográficas son dispositivos que detectan patrones de calor en el espectro de longitud de onda infrarroja sin tener un contacto directo con el equipo.

En los años setenta, los sistemas termográficos eran resistentes y fiables, pero la calidad de las imágenes era baja en comparación con las cámaras termográficas actuales. A principios de los años ochenta, la termografía era muy utilizada de forma generalizada con fines médicos, en la industria tradicional y para la inspección de edificios. Los sistemas termográficos se calibraban para producir imágenes radiométricas completas, de manera que se pudiera medir la temperatura radiométrica en cualquier zona de la imagen. Una *imagen radiométrica* es una imagen térmica que contiene cálculos de las medidas de temperatura en varios puntos de la imagen.

Se hicieron más fiables los sistemas de enfriamiento de las cámaras termográficas para sustituir el gas comprimido o licuado que había sido utilizado para enfriar las cámaras termográficas. También se desarrollaron y produjeron en masa sistemas basados en el tubo vidicón piroeléctrico (PEV) de menor coste. Aunque no eran radiométricos, los sistemas de termografía PEV era ligeros, portátiles y podían funcionar sin refrigeración.

A finales de los ochenta, se lanzó al mercado, procedente del desarrollo militar, un nuevo dispositivo conocido como matriz de plano focal (FPA). Una *matriz de plano focal (FPA)* es un dispositivo sensor de imagen que consta de una matriz (por lo general rectangular) de detectores sensibles al infrarrojo situado en el plano focal de una lente. **Consulte la figura 1-2.**

Esto supuso una mejora significativa frente a los primeros detectores tipo escáner y tuvo como resultado un aumento de la calidad de la imagen y de la resolución espacial. Las matrices normales de las cámaras termográficas modernas tienen un conjunto de píxeles que van de 16×16 a 640×640 . Un *pixel*, en este sentido, es el elemento independiente más pequeño de una matriz de plano focal que puede detectar energía infrarroja. En el caso de algunas aplicaciones específicas, se puede disponer de matrices con más de 1.000×1.000 píxeles. El primer número representa el número de columnas mientras que el segundo número representa el número de filas que se muestran en la pantalla. Por ejemplo,

una matriz de 160×120 es igual a un total de 19.200 píxeles ($160 \text{ píxeles} \times 120 \text{ píxeles} = 19.200 \text{ píxeles}$).

Desde el año 2000, ha aumentado el desarrollo de la tecnología FPA con el uso de varios detectores. Una *cámara termográfica de*

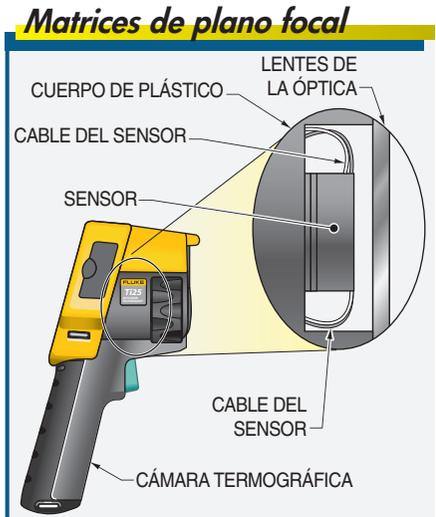


Figura 1-2. Una matriz de plano focal (FPA) es un dispositivo sensible a la imagen que consiste en un conjunto (por lo general rectangular) de píxeles sensibles a la luz en el plano focal de una lente.

onda larga es una cámara que detecta energía infrarroja en la banda de longitudes de onda que van desde las $8 \mu\text{m}$ hasta los $15 \mu\text{m}$. Una *micra* (μm) es una unidad de medida de longitud igual a la milésima parte de un milímetro ($0,001 \text{ m}$). Una *cámara termográfica de onda media* es una cámara que detecta energía infrarroja en la banda de longitud de onda que va de los $2,5 \mu\text{m}$ a los $6 \mu\text{m}$. Actualmente, se dispone tanto de los sistemas de termografía de onda media como larga en versiones totalmente radiométricas, con frecuencia con sensibilidades térmicas y de fusión de imágenes de $0,05^\circ\text{C}$ o menos.

El coste de estos sistemas se ha reducido en más de un 90 % durante la última década y la calidad ha aumentado de forma espectacular.

Además, ha crecido enormemente el uso de software para el procesamiento de imágenes. Casi todos los sistemas infrarrojos comerciales disponibles actualmente usan software para facilitar el análisis y la realización de informes. Los informes pueden crearse rápidamente y enviarse electrónicamente a través de Internet o guardarse en formatos de uso común, como el formato PDF, y almacenarse en distintos tipos de dispositivos digitales de almacenamiento.

FUNCIONAMIENTO DE LAS CÁMARAS TERMOGRÁFICAS

Resulta útil tener una comprensión general de cómo funcionan las cámaras termográficas porque es muy importante que el termógrafo trabaje dentro de las limitaciones del equipo. Esto permite detectar y analizar los problemas potenciales con mayor precisión. El propósito de una cámara termográfica es detectar la radiación infrarroja que emite el blanco. **Consulte la figura 1-3.** El *blanco* es el objeto que va a ser inspeccionado con una cámara termográfica.

La radiación infrarroja converge, debido a la óptica de la cámara termográfica, en el detector para obtener una respuesta, que normalmente es un cambio de tensión o de resistencia eléctrica, la cual es leída por los elementos electrónicos de la cámara termográfica. La señal producida por la cámara termográfica se convierte en una imagen electrónica (termograma) en la pantalla. Un *termograma* es la imagen de un blanco electrónicamente procesado y mostrado en la pantalla en donde los distintos tonos de color se corresponden con la distribución de la radiación infrarroja en la superficie del blanco. Con este sencillo proceso, el termógrafo es capaz de ver el termograma que se corresponde con la energía radiada procedente de la superficie del blanco.

Blancos

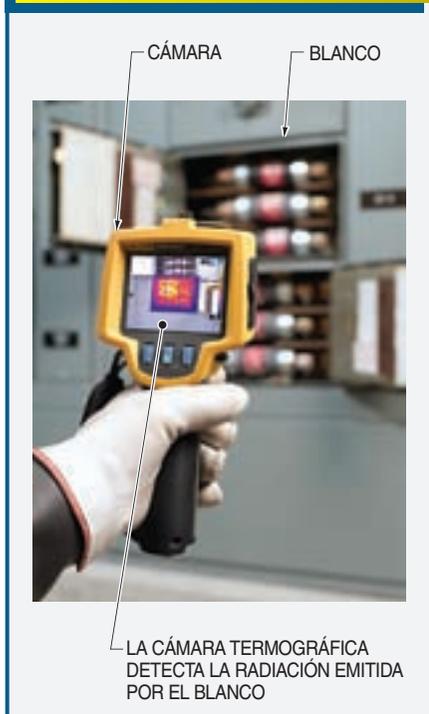
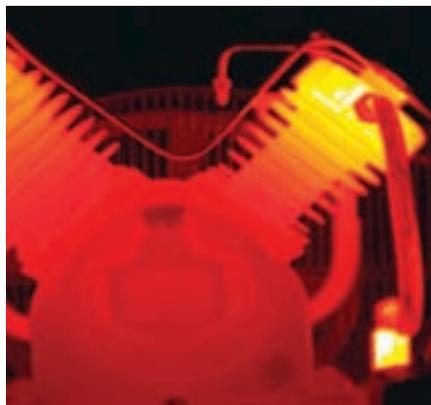


Figura 1-3. El blanco es el objeto que va a ser inspeccionado con una cámara termográfica. El propósito de una cámara termográfica es detectar la radiación infrarroja que emite el blanco.

Componentes de las cámaras termográficas

La cámara termográfica típica consta de varios componentes incluyendo la lente, tapa de la lente, pantalla, detector y electrónica de procesamiento, controles, dispositivos de almacenamiento de datos y software de procesamiento de datos y creación de informes. Estos componentes pueden variar dependiendo del tipo y modelo de cámara termográfica. **Consulte la figura 1-4.**



Un termograma es electrónicamente procesado y mostrado en la pantalla en donde los distintos tonos de color se corresponden con la distribución de la radiación infrarroja en la superficie del blanco.

Lentes. Las cámaras termográficas tienen al menos una lente. La lente de la cámara recoge la radiación infrarroja y la enfoca en el detector de infrarrojos. El detector produce una respuesta y crea una imagen electrónica (térmica) o termograma. La lente de la cámara termográficas se utiliza para recoger y enfocar la radiación infrarroja entrante en el detector. Las lentes de la mayoría de las cámaras termográficas de onda larga están fabricadas de germanio (Ge). Se utilizan finas capas de revestimiento antirreflectante para mejorar la transmisión de las lentes.

CONSEJO TÉCNICO

Debido a la necesidad constante de ahorrar energía, los municipios y las agencias estatales hacen uso de exploraciones aéreas con infrarrojos. El objetivo de estas exploraciones es proporcionar a las comunidades, residentes y empresas información en relación con las pérdidas de calor de los edificios.

Cámaras termográficas



Figura 1-4. Una cámara termográfica típica está compuesta de varios componentes comunes incluyendo la lente, tapa de la lente, pantalla, controles y mango con correa de mano.



Por lo general, las cámaras termográficas traen un maletín para guardar el instrumento, el software y otros elementos que pudiéramos necesitar sobre el terreno.

Pantalla. Las imágenes térmicas se muestran en la pantalla de cristal líquido (LCD) de la cámara termográfica. La pantalla de cristal líquido debe ser lo suficientemente grande y brillante para poder verse con facilidad en las distintas condiciones de iluminación con las que podemos encontrarnos sobre el terreno. En la pantalla también suele presentarse información útil como la carga de la batería, fecha, hora, temperatura del blanco (en °F, °C o °K), imagen de luz visible y la paleta de colores asociada a las temperaturas que se miden. **Consulte la figura 1-5.**

Detector y electrónica de procesamiento. Tanto el detector como la electrónica de procesamiento se utilizan para procesar la energía infrarroja y

obtener información útil. La radiación térmica procedente del blanco se enfoca sobre el detector, que, por lo general, es un material semiconductor electrónico. La radiación térmica produce una respuesta medible en el detector. Esta respuesta se procesa electrónicamente en la cámara termográfica para producir una imagen térmica en la pantalla de la cámara termográfica.

Pantallas

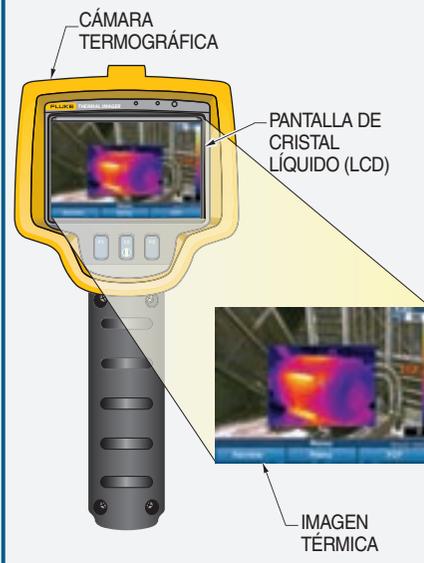


Figura 1-5. Las imágenes térmicas se muestran en la pantalla de cristal líquido (LCD) de la cámara termográfica.

Controles. Se pueden realizar distintos ajustes electrónicos con los controles para mejorar la imagen térmica visualizada en la pantalla. Los ajustes electrónicos pueden afectar a varias variables como el rango de temperaturas, intervalo y nivel térmico, paletas de colores y fusión de imágenes. Los ajustes también pueden afectar a la emisividad y la temperatura de fondo reflejada. Consulte la figura 1-6.

Controles



Figura 1-6. Con los controles, se pueden realizar ajustes sobre variables importantes como el rango de temperaturas, el intervalo y nivel térmico, así como otros ajustes.

Dispositivos de almacenamiento de datos.

Los archivos digitales que contienen imágenes térmicas y los datos asociados se almacenan en distintos tipos de tarjetas de memoria electrónicas o dispositivos de almacenamiento y transferencia.

8 Introducción a los principios de la termografía

Muchos sistemas de termografía por infrarrojos también permiten el almacenamiento de datos de voz o texto adicionales así como la imagen de luz visible correspondiente obtenida con una cámara digital estándar integrada.

Software de procesamiento de datos y creación de informes. El software utilizado en la mayoría de los sistemas de termografía es tan potente como fácil de usar. Las imágenes digitales térmicas y de

luz visible se importan a un ordenador donde se pueden ver utilizando varias paletas de colores, y en donde se pueden realizar más ajustes en todos los parámetros radiométricos y funciones de análisis. Las imágenes procesadas se pueden insertar entonces en plantillas de informes y se pueden enviar a una impresora, almacenarlas electrónicamente o enviarse a los clientes a través de una conexión de Internet.



TERMOGRAFÍA Y RETORNO DE LA INVERSIÓN

La termografía, mediante el uso de las cámaras termográficas, se puede utilizar para realizar gran cantidad de funciones esenciales en entornos industriales y comerciales, incluyendo la resolución de problemas y el mantenimiento de equipos así como la inspección de cerramientos. Tradicionalmente, las cámaras termográficas se consideraban equipos caros. Sin embargo, el coste asociado con el mantenimiento y los tiempos de inactividad no programados correspondientes al funcionamiento de una instalación se puede reducir considerablemente cuando se utilizan las cámaras termográficas en las tareas de mantenimiento preventivas y predictivas.

RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

La termografía por infrarrojos juega un papel importante en la resolución de problemas en aplicaciones industriales y comerciales. Con frecuencia aparece la duda sobre el correcto funcionamiento de un equipo debido a algunas situaciones o indicaciones anormales. Se puede tratar de situaciones evidentes, cosas tan simples como una vibración o un sonido perceptibles, o una lectura de temperatura. O puede tratarse de estados más sutiles, el origen del problema puede ser difícil o imposible de determinar.

Una *firma térmica* es una imagen en colores que muestra la energía infrarroja, o calor, emitido desde un objeto. La comparación de la firma o patrón térmico de un equipo que funciona con normalidad con uno en evaluación por un funcionamiento anormal es un medio excelente para la resolución de problemas. **Consulte la figura 2-1.** La ventaja principal de la termografía por infrarrojos radica en que las comprobaciones pueden realizarse con rapidez y sin destruir el equipo. Además, dado que las cámaras termográficas no necesitan tener contacto físico con los equipos a examinar, se pueden utilizar mientras el equipo o un componente del mismo están en funcionamiento.

Incluso cuando no se puede dar una interpretación clara de una imagen térmica

de una situación anormal, esta se puede utilizar para determinar si es necesario hacer más comprobaciones. Por ejemplo, es fácil realizar inspecciones rápidas de motores eléctricos y ver si hay irregularidades en los rodamientos o en algún acoplamiento. El rodamiento de un motor que está significativamente más caliente que la carcasa del motor sugiere un problema potencial de lubricación o de alineación de ejes. También se puede pensar en un problema de alineación si un lado del acoplamiento está más caliente que el lado opuesto. **Consulte la figura 2-2.**



Un rodamiento caliente es señal de que puede haber un problema de alineación, lubricación, o problemas asociados al motor o al equipo al que está conectado.

Firmas térmicas

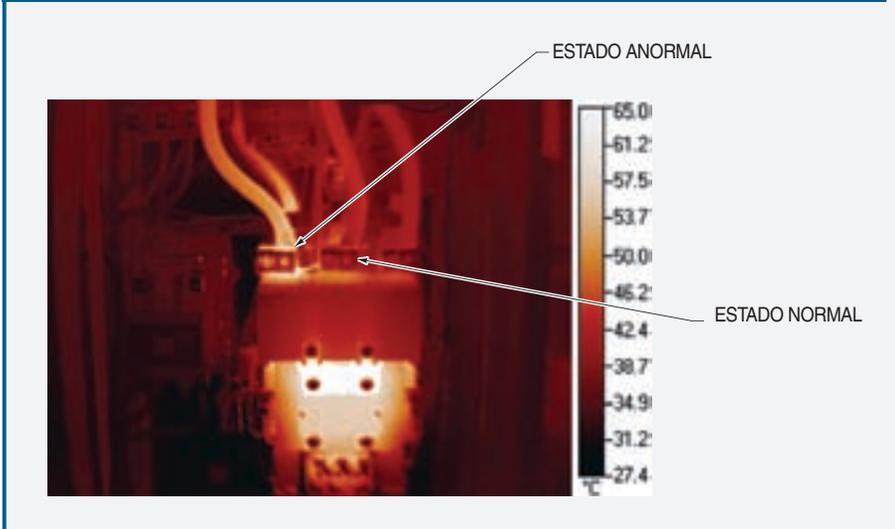


Figura 2-1. Las firmas y patrones térmicos de los equipos en funcionamiento pueden indicar rápidamente estados normales y anormales.

Resolución de problemas relacionados con los rodamientos del motor



Figura 2-2. Cuando el rodamiento de un motor está significativamente más caliente que la carcasa, es posible que se trate de un problema de lubricación o de alineación.

La clave para llevar a cabo la resolución de problemas con éxito mediante la termografía es tener una buena comprensión de los requisitos básicos necesarios para detectar problemas potenciales o estados anormales en cualquier componente específico de un equipo cuando estos se producen. Por ejemplo, el uso de una cámara termográfica para resolver un problema en un interruptor eléctrico desconectado sin alimentación no tiene valor porque los problemas potenciales (puntos calientes) no serán visibles a menos que por el interruptor eléctrico circule suficiente corriente eléctrica. De la misma manera, para llevar a cabo con éxito la inspección de una trampa de vapor, ésta debe ser observada a lo largo de un ciclo completo de trabajo.

No siempre resulta fácil saber con exactitud las condiciones necesarias para llevar a cabo la inspección y análisis de problemas en un equipo en particular. Junto con la experiencia del termógrafo, se necesita una comprensión sólida

de todas las variables, como la transferencia del calor, la radiometría, el uso de la cámara y el funcionamiento y las averías del equipo para conseguir una resolución de problemas eficaz. La *radiometría* es la detección y la medida de la energía electromagnética radiante, específicamente en la zona infrarroja del espectro.

Mantenimiento preventivo

El *mantenimiento preventivo (MP)* consiste en la programación de los trabajos necesarios para mantener un equipo en condiciones óptimas de funcionamiento. El mantenimiento preventivo reduce al mínimo el funcionamiento incorrecto y las averías del equipo a la vez que mantiene el óptimo rendimiento de la producción y las condiciones de seguridad de la instalación. Esto tiene como resultado un incremento de la vida de servicio, una reducción de los tiempos de inactividad y una mayor eficiencia de la planta en general. Las tareas de mantenimiento preventivo y su frecuencia son específicas para cada equipo de acuerdo con las especificaciones del fabricante, los manuales del equipo, las publicaciones especializadas del sector y por la experiencia del trabajador.

En los programas de mantenimiento preventivo, se considera vital la existencia de una estrategia para tener una comprensión exhaustiva de las condiciones de funcionamiento del equipo a través de una evaluación y supervisión basadas en las condiciones de trabajo. Los programas preventivos que incluyen la evaluación y supervisión del equipo basadas en las condiciones de trabajo se realizan con más facilidad utilizando cámaras termográficas. Mediante la revisión de las imágenes térmicas del equipo bajo estudio, las decisiones sobre si hay que reparar o sustituir un elemento son más efectivas, se reducen los costes globales y aumenta la fiabilidad del equipo. Cuando la producción exige que un equipo sea totalmente operativo, el mantenimiento preventivo le asegura a la dirección de fabricación que el trabajo se realizará como está previsto.

El mantenimiento está basado en un conjunto sofisticado de actividades que utiliza métodos específicos. Sin embargo, en los últimos años,

se ha descubierto que algunos de los métodos tradicionales aplicados a través del mantenimiento preventivo, han causado a menudo más problemas de los que han resuelto. Además, otro aspecto a tener en cuenta es el retorno de la inversión que proporciona esta forma de mantenimiento.

Mantenimiento predictivo

El *mantenimiento predictivo (MPd)* está basado en la supervisión de la evolución de las condiciones de operación y de las características del equipo frente a unas tolerancias predeterminadas para de esta forma predecir el posible funcionamiento incorrecto del equipo o sus averías. Se recogen los datos de funcionamiento del equipo y se analizan para ver tendencias en el rendimiento y en las características de los componentes. Las reparaciones se hacen conforme son necesarias.

El mantenimiento predictivo suele requerir una inversión importante en equipos de supervisión y en formación del personal. Sobre todo se utiliza en equipos de coste elevado o cuyo funcionamiento es crítico. Los datos recogidos por los equipos de supervisión se analizan regularmente para determinar si los valores están dentro de los valores de tolerancia aceptables.

Consulte la figura 2-3. Los procedimientos de mantenimiento se realizan si los valores sobrepasan los valores de tolerancia aceptables. El equipo se supervisa entonces detenidamente después de realizar los procedimientos de mantenimiento. Si el problema vuelve a repetirse, se analiza la forma de trabajar del equipo y el diseño del mismo y se llevan a cabo los cambios necesarios.

Con un programa adecuado de mantenimiento predictivo, se suele reducir el mantenimiento preventivo. Algunas tareas de mantenimiento, como la lubricación o la limpieza, se realizan cuando son realmente necesarias en vez de seguir un programa establecido. La termografía y las imágenes termográficas se pueden utilizar para determinar el estado del equipo y, cuando se tienen dudas sobre su estado, también se utiliza para supervisar el equipo hasta el siguiente periodo de mantenimiento.

Una inspección de aceptación es la inspección que se realiza durante la puesta en marcha inicial del equipo, o durante la sustitución de un componente, con el objeto de determinar el estado de partida del equipo. El estado inicial se utiliza para verificar las especificaciones de funcionamiento proporcionadas por el fabricante o para hacer comparaciones posteriores. Las inspecciones de aceptación de los equipos nuevos o reconstruidos son esenciales para que los programas de mantenimiento predictivo resulten rentables.

Tanto si se instala un nuevo centro de control del motores, un tejado, una línea de vapor o el aislamiento de un edificio, la termografía es una herramienta muy útil para documentar el estado real del equipo en el momento de la aceptación. Se puede utilizar una imagen termográfica para determinar si la instalación se realizó de forma

adecuada. Si se detecta una deficiencia en la instalación, puede corregirse de inmediato o, según permitan las circunstancias, supervisarse hasta que se pueda programar un periodo de reparaciones.

Independientemente de los programas de mantenimiento utilizados en una empresa, el uso de la termografía y de las cámaras termográficas es muy beneficioso. Cuando se utiliza para la resolución de problemas y el mantenimiento, las ventajas son la disminución de las paradas del equipo y un aumento del tiempo de funcionamiento. Otros grandes beneficios son la rentabilidad de la inversión en cuanto a la fiabilidad del mantenimiento y el ahorro de costes gracias a la reducción de horas de trabajo. Además, se evita en general la frustración de los técnicos de mantenimiento.

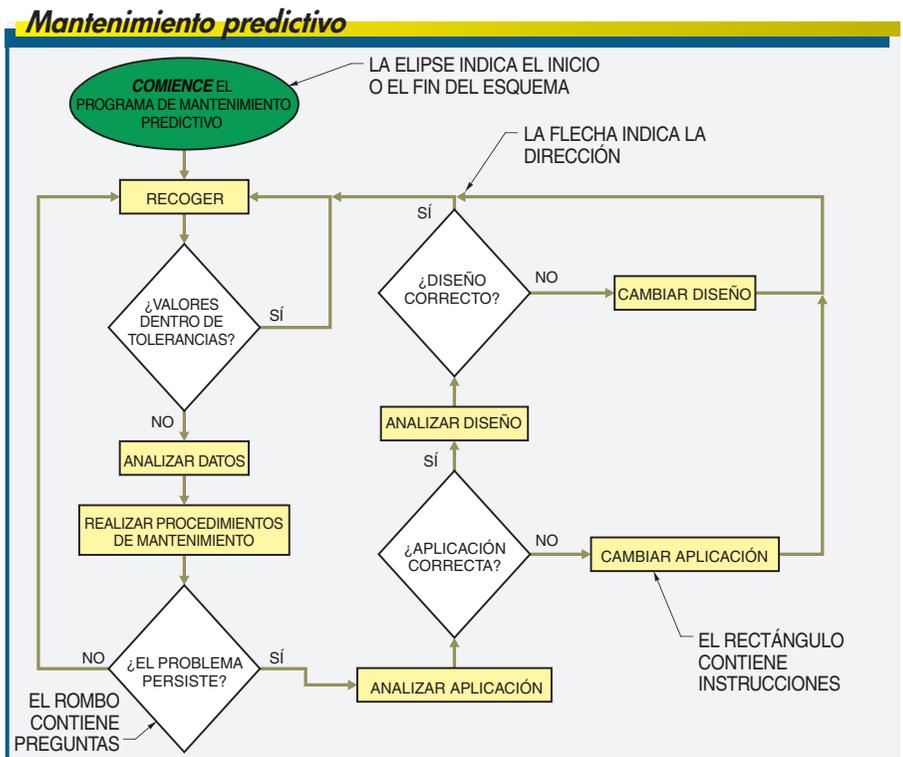


Figura 2-3. El mantenimiento predictivo se utiliza sobre todo en equipos de elevado coste o cuyo funcionamiento es crítico en una instalación.



FORMACIÓN Y SEGURIDAD

Las cámaras termográficas se pueden utilizar para realizar una gran variedad de tareas en entornos industriales y comerciales. Muchas de estas tareas se llevan a cabo en zonas donde normalmente existe riesgo, como en equipos eléctricos con corriente o en zonas altas. Para realizar de forma segura y eficiente las tareas requeridas, se necesita una formación adecuada en el uso de cámaras termográficas así como la implementación de normas de seguridad. Se utilizan varias normas y procedimientos redactados en papel para poder proporcionar la formación apropiada.

CUALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL TERMÓGRAFO

Aprender a usar las cámaras termográficas actuales es relativamente fácil. Por lo general, se puede llegar a dominar con una formación básica y con práctica. Sin embargo, la interpretación correcta de las imágenes térmicas suele ser más difícil. No solo requiere formación en la aplicación de la termografía sino también formación complementaria y de más larga duración, así como experiencia en el uso de cámaras termográficas.

Es muy importante cualificar y certificar a los termógrafos para obtener toda la rentabilidad de la inversión en termografía. Independientemente del uso específico de la tecnología, la cualificación del termógrafo se basa en la formación, experiencia y en las pruebas sobre una de las tres categorías de la certificación. **Consulte la figura 3-1.**

Aunque la certificación del termógrafo supone una inversión, se trata de una inversión que, por lo general, tiene una gran rentabilidad. No se trata solo de que el personal certificado realice inspecciones de mayor calidad, si no que además sus inspecciones sean más coherentes técnicamente. Es más probable que

los termógrafos no certificados cometan errores costosos y peligrosos. Estos errores suelen tener graves consecuencias, como recomendaciones imprecisas sobre la importancia de los problemas descubiertos o que no se detecte ningún problema. Aunque la cualificación apropiada es importante, también los son los procedimientos de inspección redactados en papel para obtener resultados de alta calidad.

Niveles de certificación de termógrafos	
NIVEL 1	Cualificado para recabar datos de alta calidad y clasificarlos por escrito con criterios de pasa/no pasa.
NIVEL 2	Cualificado para configurar y calibrar el equipo, interpretar datos, crear informes y supervisar al personal del nivel 1.
NIVEL 3	Cualificado para desarrollar procedimientos de inspección, interpretar códigos relacionados con este ámbito y gestionar un programa que incluya supervisión o formación y realización de comprobaciones.

Figura 3-1. Existen tres niveles de certificación para termógrafos.

En los EE. UU., la certificación la emite el empleador en cumplimiento de las normas de la American Society for Nondestructive Testing. La *American Society for Nondestructive Testing (ASNT)* es una organización que ayuda a crear entornos más seguros al ofrecer sus servicios a los profesionales dedicados a la realización de comprobaciones no destructivas así como a promocionar las tecnologías de comprobaciones no destructivas mediante publicaciones, certificaciones, investigaciones y conferencias. En otras partes del mundo, la certificación la realiza el organismo certificador central de cada país que cumple con las normas de la International Organization for Standardization. La *International Organization for Standardization (ISO)* es una organización internacional no gubernamental compuesta por las instituciones de normalización nacionales de más de 90 países.

Bajo los dos modelos, la cualificación se basa en la formación apropiada, tal y como se describe en los documentos de las normas pertinentes. También se requiere un periodo de experiencia para la cualificación y un examen teórico y práctico.

CONSEJO TÉCNICO

Antes de llevar a cabo la inspección térmica, el termógrafo debería pasar previamente por la ruta de inspección planificada para verificar su eficiencia y para identificar los riesgos potenciales de seguridad.

SEGURIDAD EN EL LUGAR DE TRABAJO

Una parte de cualquier programa de certificación es tomar conciencia de los peligros inherentes a la termografía así como de las técnicas y habilidades necesarias para garantizar la seguridad en el lugar de trabajo. El sentido común determina mucho de lo que constituye una práctica segura de trabajo pero con frecuencia se deben tomar medidas de precaución

especiales para aplicaciones específicas. Por ejemplo, los termógrafos que inspeccionan sistemas eléctricos tienen un riesgo mayor de exposición a choques eléctricos y arcos de tensión.

En muchos casos, inspeccionan equipos con carga eléctrica que, justo después de que el cuadro haya sido abierto, pueden desencadenar un arco fase a fase o fase a tierra. Un *arco de tensión* es una descarga de temperatura extremadamente alta producida por un fallo eléctrico en el aire. Las temperaturas de los arcos de tensión pueden alcanzar los 19.427°C.

Un *choque eléctrico por arco de tensión* es una explosión que ocurre cuando el aire que rodea al equipo eléctrico se ioniza y se hace conductor. El riesgo de choque eléctrico por arco de tensión es máximo para sistemas eléctricos de 480 V o más.

El *perímetro de protección frente a arcos* es la distancia recomendada a la que se necesita el equipo de protección individual (PPE), para prevenir quemaduras si se produjeran arcos de tensión. **Consulte la figura 3-2.** Aún cuando un circuito que se está reparando no debería estar nunca conectado a la red eléctrica, existe la posibilidad de que haya circuitos cercanos que todavía estén conectados dentro del perímetro de protección frente a arcos. Por esta razón, se deben usar barreras protectoras, como mantas de aislamiento, junto con el equipo de protección individual como medidas de protección frente a arcos de tensión. Sin embargo, las consecuencias de un choque eléctrico por arco de tensión suelen ser mortales y tener un coste elevado. La seguridad se debe tener en cuenta en todo momento.

Aunque el riesgo de choque eléctrico por arco de tensión se reduce al mínimo no abriendo la cubierta o la puerta del cuadro, esto también imposibilita la mayor parte del beneficio de la termografía, ya que no se puede ver a través de los paneles de los cuadros. **Consulte la figura 3-3.** Sin embargo, en la actualidad se instalan muchos cuadros con ventanas especiales transparentes a los infrarrojos o con puertas de visualización. Estos elementos pueden reducir el riesgo de formación de arcos de tensión y dan buenos resultados.

Perímetros de protección frente a arcos				
Sistema nominal (tensión, rango, fase a fase*)	Perímetro de acercamiento límite		Perímetro de acercamiento restringido (para movimientos accidentales)	Perímetro de acercamiento prohibido
	Conductor móvil expuesto	Parte del circuito-fijo expuesto		
0 a 50	N/A	N/A	N/A	N/A
51 a 300	3 m	1 m	Evitar contacto	Evitar contacto
301 a 750	3 m	1 m	30 cm	2,5 cm
751 a 15.000	3 m	1,5 cm	65 cm	20 cm

* en V

Figura 3-2. El perímetro de protección frente a arcos es la distancia recomendada a la que debe adaptarse el equipo de protección individual, para prevenir quemaduras si se produjeran arcos de



Figura 3-3. Cuando es necesario abrir cuadros eléctricos, deben desarrollarse procedimientos, implementarlos y cumplirlos rigurosamente con el objeto de reducir al mínimo el riesgo de formación de arcos de tensión.

Cuando hay que abrir los cuadros, se deben desarrollar procedimientos, implementarlos y cumplirlos rigurosamente con el objeto de reducir al mínimo el riesgo de formación de arcos de tensión. La norma 70E de la agencia National Fire Protection Association (NFPA) de EE. UU., es una de las distintas normas que pueden resultar útiles para desarrollar tales procedimientos.

Las inspecciones eléctricas rutinarias pueden ser mucho más seguras y efectivas cuando se realizan en equipo. El equipo puede estar formado por dos personas, por ejemplo, el termógrafo y la persona cualificada que abre el cuadro, mide las cargas y cierra sin riesgo el cuadro una vez que se ha completado el trabajo. Una *persona cualificada* es una persona que tiene conocimientos teóricos y prácticos sobre la composición y funcionamiento del equipo eléctrico y que ha recibido la formación adecuada sobre riesgos laborales.

Por lo general, el trabajo de inspección de edificios implica menos riesgos. Sin embargo, también hay riesgos como cuando se accede a sótanos de poca altura y a áticos. También se deben tomar precauciones cuando se trabaja en obras que todavía están en marcha.

Los termógrafos que trabajan en entornos industriales siempre deben tener en cuenta los peligros asociados, como traspies, caídas potenciales o los peligros al entrar en espacios cerrados. También es posible que se requiera ropa reflectante en muchos entornos. En los tejados, se debe tener en cuenta el riesgo de caídas, no solo en los bordes, sino también en cualquier simple cambio en la pendiente, o sobre la cubierta de un tejado estructuralmente débil. El trabajo que haya que realizar sobre tejados no debe hacerse nunca solo.

Además, se deben tomar medidas de precaución especiales en horario nocturno. Un termógrafo podría sufrir de ceguera nocturna al ver una imagen térmica en la pantalla brillante de

un sistema de termografía. La *ceguera nocturna* es un estado que se produce cuando los ojos del termógrafo se adaptan para ver una pantalla luminosa brillante y, como resultado, no están adaptados para ver un objeto oscuro.

Los accidentes suelen producirse cuando el trabajo no se planifica, o cuando cambia la naturaleza del trabajo programado sin que este cambio se refleje en el programa. Siempre se debe desarrollar y seguir un plan de trabajo seguro. Cuando cambian las circunstancias, se debe volver a evaluar el plan para hacer los cambios necesarios.

La *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)* es una agencia estatal de los EE. UU., constituida en aplicación de la Ley sobre Salud y Seguridad Ocupacional de 1970 (Occupational Safety and Health Act), que exige a los empleadores proporcionar un entorno seguro a sus empleados. Por ejemplo, la OSHA exige que las zonas de trabajo se despejen de cualquier elemento de riesgo que pueda causar lesiones graves. El gobierno de los EE. UU. hace cumplir las disposiciones de la OSHA, y cualquier plan sobre riesgos laborales puede desarrollarse siguiendo las directrices de la OSHA.



Las inspecciones térmicas de equipos eléctricos de alta tensión necesitan realizarse a una distancia de seguridad.

REDACCIÓN DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN

Los procedimientos de inspección por escrito son esenciales para producir resultados de gran calidad. Por poner un ejemplo, intentar hacer un bizcocho sin receta es mucho más difícil que hacerlo con receta. Los procedimientos de inspección en papel se podrían considerar “recetas para el éxito”.

La creación de estas “recetas para el éxito”, aunque supone una inversión, no tiene por qué ser difícil. Por lo general, resulta práctico implicar a un pequeño grupo de personas con experiencia en procesos de inspección, a fin de contar con diferentes puntos de vista y de cubrir varias áreas de especialidad y responsabilidades. Una vez que se ha redactado el procedimiento de inspección, debería comprobarse exhaustivamente y ser revisado periódicamente por personal certificado, para garantizar que continúa observando las prácticas recomendadas.

Existen muchas normas de inspección que pueden servir de base para la redacción de procedimientos de inspección simples. Por ejemplo, varios comités de profesionales han trabajado tanto con la ISO como con la American Society of Testing Materials (ASTM) International para desarrollar un buen número de normas a este respecto. *La American Society of Testing Materials (ASTM) International* es una asociación técnica y el principal promotor de normas voluntarias, información técnica relacionada y servicios para impulsar la salud y seguridad públicas. La ASTM International también contribuye a la fiabilidad de productos, materiales y servicios.

Estas normas ayudan a determinar el rendimiento de los sistemas infrarrojos. También describen cuáles son las mejores prácticas para la inspección de aislamientos en edificios, fugas de aire, sistemas eléctricos y mecánicos, tejados y plataformas de los puentes de las autopistas. También se pueden utilizar las normas complementarias de otras organizaciones de

normalización presentes en otros países. Por ejemplo, muchas tienen normas que regulan la seguridad eléctrica y que tienen una aplicación directa en el trabajo de los termógrafos que inspeccionan sistemas eléctricos.

Debido a la enorme variedad de cámaras termográficas disponibles actualmente y a la amplia gama de precios, la tecnología infrarroja se ha hecho muy accesible. Sin embargo, las

organizaciones que invierten en el desarrollo de programas sólidos de termografía con procedimientos de inspección y personal cualificado, cuentan con una ventaja adicional. Normalmente, disfrutarán de beneficios a largo plazo que no tendrán otras organizaciones.

Consulte la figura 3-4.

Cámaras termográficas



PARA MANTENIMIENTO GENERAL,
RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS
E INSPECCIONES BÁSICAS

PARA APLICACIONES ESPECIALIZADAS,
COMPLEJAS O INTENSIVAS QUE REQUIEREN
UNA DETECCIÓN MÁS PRECISA Y FUNCIONES
DE ANÁLISIS

Figura 3-4. Existen distintas cámaras termográficas disponibles para las distintas aplicaciones e inspecciones.



TEORÍA APLICADA A LA PRÁCTICA

La teoría y la ciencia de la termodinámica se basan en las variaciones de las transferencias de calor entre distintos materiales. Las cámaras termográficas hacen sus lecturas basándose en los principios básicos de la termodinámica. Los técnicos deben ser capaces de entender las limitaciones de la termografía y de las cámaras termográficas cuando hacen lecturas de las distintas estructuras, equipos y materiales.

TERMODINÁMICA BÁSICA

La termodinámica es la ciencia que estudia cómo la energía térmica (calor) se mueve, transforma y afecta a la materia. Para utilizar los equipos infrarrojos actuales, es esencial entender los principios básicos tanto de la transferencia de calor como de la física de la radiación. Pese a la extraordinaria capacidad de los equipos modernos, todavía no pueden pensar por sí solos. El valor de los equipos modernos va en función de la habilidad del técnico para interpretar los datos, lo cual requiere una comprensión práctica de los principios básicos de la transferencia de calor y de la física de la radiación.

La energía es la capacidad de realizar trabajo. La energía se manifiesta de varias formas. Por ejemplo, una central termoeléctrica de carbón transforma la energía química del combustible fósil en energía térmica por combustión. Esta energía, a su vez, produce energía mecánica o movimiento en un generador de turbina que se transforma entonces en energía eléctrica. Durante estas transformaciones, aunque la energía pasa a ser más difícil de aprovechar, no se pierde energía alguna.

La primera ley de la termodinámica es una ley de la física que dice que cuando el trabajo mecánico se transforma en calor, o cuando el calor se transforma en trabajo, la cantidad de trabajo y

de calor son siempre iguales. El hecho de que el calor (o energía térmica) sea un subproducto en casi todas las transformaciones de energía supone una ventaja para los técnicos. La energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma.

La temperatura es una medida del calor o frío relativo de un objeto en relación a otro. Todos hacemos de manera inconsciente comparaciones con nuestra temperatura corporal o la temperatura ambiente del aire y los puntos de ebullición y congelación del agua.

La segunda ley de la termodinámica dice que cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos, la energía térmica se transfiere de las zonas más calientes (mayor energía) a las zonas más frías (menor energía) hasta alcanzar el equilibrio térmico. Una transferencia de calor tiene como resultado o bien una transferencia de electrones o bien un aumento de la vibración atómica o molecular. Esto es importante porque estos efectos son los que se miden cuando se mide la temperatura.

MÉTODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La energía térmica se puede transferir por tres métodos distintos: conducción, convección o radiación. Cada método se puede describir

como estado estable o inestable. Durante una transferencia en estado estable, la velocidad de transferencia es constante y no cambia de sentido en función del tiempo. Por ejemplo, una máquina totalmente caliente con una carga constante transfiere el calor a una velocidad estable a su entorno. En realidad, no existe el flujo de calor estable perfecto. Siempre hay pequeñas fluctuaciones transitorias, pero por motivos prácticos se suelen ignorar.

La *conducción* es la transferencia de energía térmica desde un objeto a otro mediante el contacto directo. La *convección* es la transferencia de calor que se produce cuando las moléculas se mueven y/o las corrientes de aire, gases o fluidos circulan entre las regiones calientes y frías. La *radiación* es el movimiento del calor que se manifiesta cuando la energía radiante (ondas electromagnéticas) se mueve sin que exista un medio directo de transferencia. Cuando una máquina se calienta o se enfría, el calor se transfiere de manera inestable. La comprensión de estas relaciones es importante para los técnicos, porque el movimiento del calor suele estar estrechamente relacionado con la temperatura de un objeto.

Concepto de capacidad térmica

La *capacidad térmica* es la propiedad de un material para absorber y almacenar el calor. Cuando el calor se transfiere a velocidades variables y/o en distintos sentidos, se dice que es inestable.

Por otra parte, cuando varios materiales están en estado inestable, se intercambian cantidades distintas de energía conforme cambian de temperatura. Por ejemplo, se necesita muy poca energía para cambiar la temperatura del aire en una habitación en comparación con la cantidad necesaria para cambiar la temperatura del mismo volumen de agua en una piscina. La capacidad térmica describe la cantidad de energía que se añade o se elimina para cambiar la temperatura

de un material. La rapidez o la lentitud con la que se produce el cambio también dependen de cómo se mueve el calor.

Aunque la capacidad térmica, que es la relación entre el calor y la temperatura, puede crear confusión, también puede ser de provecho para el técnico. Por ejemplo, se puede encontrar el nivel de un líquido en un depósito gracias a la diferencia entre la capacidad térmica del aire y del líquido. Cuando un depósito se halla en estado inestable, los dos materiales suelen tener temperaturas diferentes.

Conducción

La conducción es la transferencia de energía térmica desde un objeto a otro mediante el contacto directo. La transferencia de calor por conducción se produce principalmente en sólidos, y hasta cierto punto en fluidos, ya que las moléculas más calientes transfieren su energía directamente a las moléculas adyacentes más frías. Por ejemplo, la conducción se puede percibir cuando se toca una taza de café caliente o una lata de refresco fría.

El coeficiente con el que se produce la transferencia de calor depende de la conductividad de los materiales y de la diferencia de temperatura (ΔT o delta de temperatura) entre los objetos. Estas sencillas relaciones están descritas formalmente en la ley de Fourier. Por ejemplo, cuando se coge una taza de café caliente con guantes, se intercambia muy poco calor en comparación a cuando se hace con la mano desnuda. Una taza de café templada no transfiere tanto calor como una caliente al no ser tan grande la diferencia de temperatura. De igual modo, cuando la energía se transfiere a la misma velocidad pero a una superficie mayor, se transfiere más energía.

Un *conductor* es un material que transfiere calor con facilidad. Por lo general, los metales son grandes conductores del calor. Sin embargo, hasta la conductividad de los metales puede variar en función del tipo de metal. Por ejemplo, el hierro no es tan buen conductor como el aluminio. Un

aislante es un material que no es eficiente en la transferencia de calor. A los materiales que no son eficientes en la transferencia de calor se les conoce como aislantes. Normalmente son materiales simples, como espuma aislante o ropa en capas, que contienen pequeñas bolsas de aire y que ralentizan la transferencia de energía. **Consulte la figura 4-1.**

Convección

La convección es la transferencia de calor que se produce cuando las corrientes circulan entre las zonas calientes y frías de los fluidos. La convección se produce tanto en líquidos como en gases e implica el movimiento en masa de moléculas a diferentes temperaturas. Por ejemplo, las nubes son un ejemplo de convección producida a gran escala donde las masas de aire caliente suben y las de aire frío bajan. A pequeña escala, la convección se da cuando se vierte leche fría en una taza de café caliente, yéndose la leche al fondo de la taza.

La transferencia de calor por convección también queda determinada en parte por las diferencias de temperatura y superficie. Por ejemplo, el radiador de un motor grande transfiere más calor que el de un motor pequeño debido a su mayor superficie. Hay otros factores que también afectan a la transferencia de calor por convección: la velocidad del fluido, la dirección del flujo y el estado de la superficie del objeto. El radiador de un motor que está bloqueado por el polvo no transfiere el calor con la misma eficiencia que un radiador limpio. Como en el caso de la conducción, la mayoría de nosotros tenemos un buen sentido práctico de estas relaciones, que fueron descritas más formalmente en la ley de enfriamiento de Newton. La convección se da naturalmente cuando los fluidos más calientes suben y los más fríos bajan, como ocurre en los tubos de enfriamiento de los transformadores de aceite. **Consulte la figura 4-2.**

Aislantes

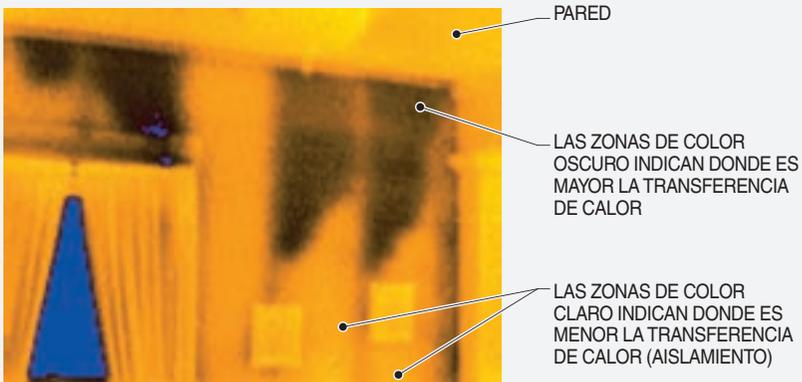


Figura 4-1. Las paredes vienen provistas con material aislante para controlar la transferencia de calor. Cuando los aislantes no están bien colocados se produce una transferencia de calor no controlada.

Convección natural

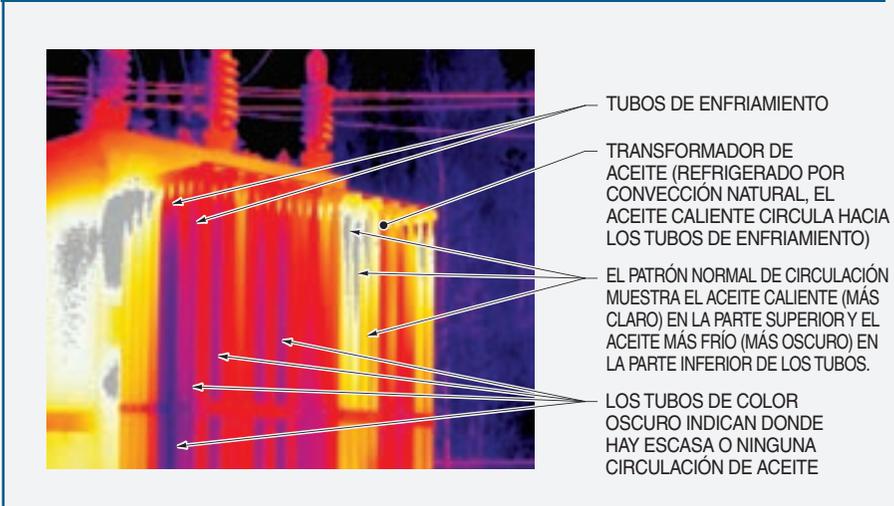


Figura 4-2. La convección natural ocurre cuando el aceite caliente sube y el aceite frío baja, como pasa en los tubos de enfriamiento de un transformador de aceite.

Cuando se fuerza la convección, como con el uso de bombas o ventiladores, las relaciones naturales se suelen sobrepasar porque la convección forzada puede resultar bastante potente. Cuando el viento sopla, sentimos más frío, lo que prueba que perdemos calor a mayor velocidad que cuando el viento no sopla. El viento también tiene una fuerte influencia sobre los objetos que se inspeccionan con las cámaras termográficas.

Radiación

La radiación es la transferencia de energía, como el calor, que se produce entre dos objetos a la velocidad de la luz mediante energía electromagnética. La radiación se puede dar incluso en el vacío, ya que no necesita ningún medio de transferencia. La sensación de calor producida por el sol en un día frío es un ejemplo de energía electromagnética.

La *energía electromagnética* es radiación en forma de ondas con propiedades eléctricas y

magnéticas. La energía electromagnética puede presentarse de varias formas, por ejemplo, como luz visible, como ondas de radio y como radiación infrarroja. La diferencia principal entre estas formas es su longitud de onda. Mientras que el ojo humano puede detectar longitudes de onda conocidas como luz visible, las cámaras termográficas detectan longitudes de onda conocidas como calor irradiado (o radiación infrarroja). Cada longitud de onda se sitúa en una zona diferente del espectro electromagnético.

La ecuación de Stefan-Boltzmann describe las relaciones que permiten que el calor se transmita en forma de radiación. Todos los objetos irradian calor. Como en el caso de la conducción y la convección, la cantidad neta de energía radiada depende de la superficie y de las diferencias de temperatura. Cuando más caliente está un objeto, más energía irradia. Por ejemplo, cuando el quemador de una cocina se calienta, irradia más energía que cuando está frío.

La *radiación térmica* es la transmisión de calor mediante ondas electromagnéticas. El rasgo

más distintivo de las ondas es la longitud de onda. Aunque existe radiación electromagnética visible al ojo humano (luz visible), el calor irradiado solo es visible a través de sistemas termográficos. El *espectro electromagnético* es el rango de todos los tipos de radiación electromagnética clasificados por longitud de onda. **Consulte la figura 4-3.**

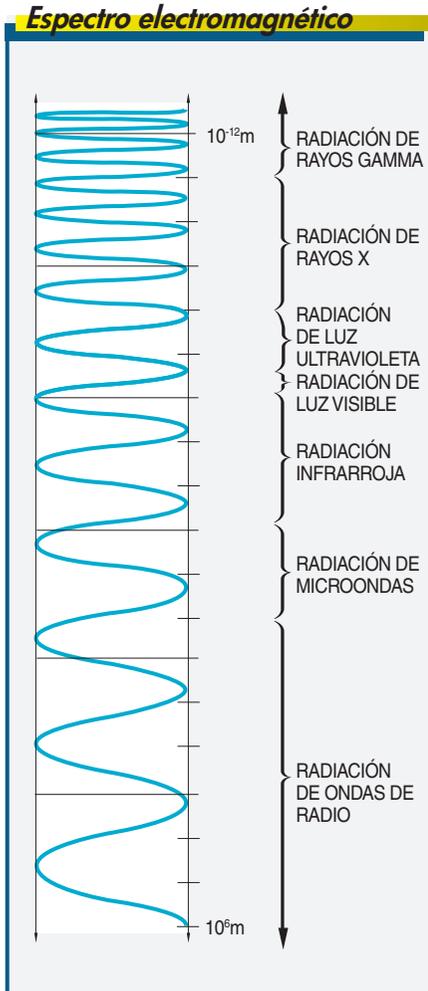


Figura 4-3. El espectro electromagnético es el rango de todos los tipos de radiación electromagnética en función de la longitud de

Concepto de conservación de la energía

La luz visible y la radiación infrarroja se comportan de forma similar cuando interactúan con otros materiales. La radiación infrarroja se refleja en algunos tipos de superficie, como la placa metálica bajo el quemador de una cocina. Con las cámaras infrarrojas se pueden ver los reflejos tanto de los objetos calientes como de los fríos en algunas superficies, por ejemplo, la de los metales brillantes, conocidos como “espejos térmicos”. En unos pocos casos, la radiación infrarroja se puede transmitir a través de una superficie, como en el caso de las lentes de una cámara termográfica. La radiación infrarroja también puede ser absorbida por una superficie, es el caso de una mano próxima a un quemador de cocina caliente. En este caso, un cambio de temperatura implica que la superficie emita más energía.

La *transmisión* es el paso de energía radiante a través de un material o estructura. La radiación infrarroja también puede ser absorbida en una superficie, provocando un cambio de temperatura y el aumento de la emisión de energía desde la superficie del objeto. La *absorción* es la interceptación de energía radiante. La *emisión* se refiere a la descarga de energía radiante. Aunque un sistema de termografía por infrarrojos puede hacer una lectura de la radiación reflejada, transmitida, absorbida y emitida, solo la energía absorbida y emitida afecta a la temperatura de la superficie. **Consulte la figura 4-4.**

CONSEJO TÉCNICO

La rugosidad de una superficie determina el tipo y el sentido del reflejo de la radiación. A las superficies lisas se las conoce como reflectores especulares, mientras que a las rugosas o con patrones se las conoce como reflectores difusos.

Reflexión, transmisión, absorción y emisión

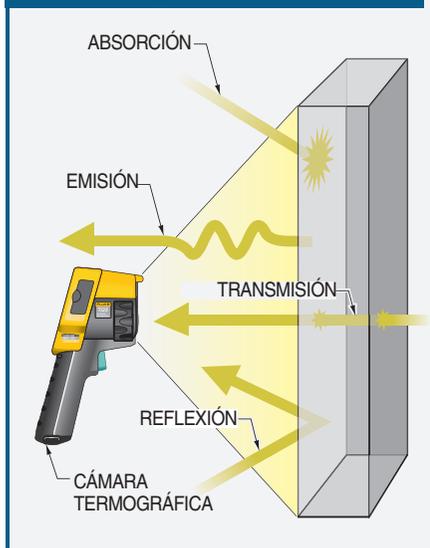


Figura 4-4. La radiación puede ser reflejada, transmitida, absorbida o emitida.

Por otro lado, la cantidad de calor irradiado por una superficie queda determinada por la eficiencia con la que la superficie emite energía. La mayoría de los materiales no metálicos, como superficies pintadas o la piel humana, emiten energía eficientemente. Esto significa que conforme la temperatura aumenta, irradian mucha más energía, como el caso del quemador de cocina.

Otros materiales, como el caso de metales sin pintar o que no están fuertemente oxidados, son menos eficientes a la hora de irradiar energía. Cuando se calienta una superficie metálica desnuda, el aumento de la transferencia de calor radiante es pequeño comparativamente, por lo que resulta difícil de distinguir entre una superficie metálica fría y una caliente tanto para nuestros ojos como para un sistema de termografía. Los metales desnudos suelen tener una baja emisividad (eficiencia de emisión baja). La emisividad se describe con un valor que varía

entre 0,0 y 1,0. Una superficie con un valor de 0,10, el usual para el cobre brillante, emite poca energía en comparación con la piel humana, con una emisividad del 0,98.

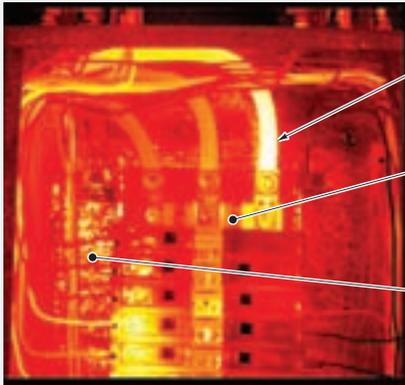
Uno de los retos de utilizar una cámara termográfica es que estos instrumentos pueden mostrar la energía que normalmente es invisible al ojo humano. A veces esto puede resultar confuso. No se trata solo de que las superficies con baja emisividad, como el caso de los metales, emitan energía ineficientemente, sino que también reflejan su entorno térmico. La lectura de una superficie obtenida con un sistema de termografía muestra en la imagen una combinación de la radiación infrarroja emitida y de la reflejada. Para comprender la imagen mostrada, el técnico debe entender cuál es la energía emitida y cuál es la reflejada.

Existen otros factores que también pueden afectar a la emisividad de un material. Además del tipo de material, la emisividad también puede variar con el estado de la superficie, la temperatura y la longitud de onda. La emisividad efectiva de un objeto también puede variar con el ángulo de visión. **Consulte la figura 4-5.**

No es difícil caracterizar la emisividad de la mayoría de los materiales que no son metales brillantes. Existen muchos materiales que han sido caracterizados, y sus valores de emisividad se pueden consultar en tablas de emisividad. Estos valores de emisividad deberían utilizarse únicamente de forma orientativa. Puesto que la emisividad exacta de un material puede variar respecto a estos valores, un técnico cualificado también necesita entender cómo medir el valor real. **Consulte la figura 4-6.**

Las cavidades, los huecos o los orificios emiten más energía térmica que las superficies que los rodean. Esto también es cierto para la luz visible. La pupila del ojo humano es negra porque es una cavidad, por lo que absorbe la luz entrante. Cuando una superficie absorbe toda la luz decimos que es "negra". La emisividad de una cavidad estará cercana a 0,98 cuando sea siete veces más profunda que ancha.

Emisividad



EL CONDUCTOR CON AISLANTE TIENE UNA EMISIVIDAD ALTA (CALOR EMITIDO)

EMISIVIDAD AFECTADA POR EL TIPO DE MATERIAL, EL ESTADO DE LA SUPERFICIE, LA TEMPERATURA Y LA LONGITUD

LA PARTE TRASERA DEL PANEL TIENE UNA EMISIVIDAD BAJA (CALOR REFLEJADO)

Figura 4-5. La emisividad puede verse afectada por el tipo de material, el estado de la superficie, la temperatura o la longitud de onda.

Valores de emisividad de materiales comunes	
Material	Emisividad*
Aluminio, pulido	0,05
Ladrillo, común	0,85
Ladrillo, refractario, basto	0,94
Hierro fundido, fundición esbozada	0,81
Hormigón	0,54
Cobre, pulido	0,01
Cobre, negro oxidado	0,88
Cinta aislante, plástico negro	0,95
Vidrio	0,92
Barniz, Bakelite	0,93
Pintura, sintética normal	0,94
Papel, negro, mate	0,94
Porcelana, vidriada	0,92
Goma	0,93
Acero, galvanizado	0,28
Acero, muy oxidado	0,88
Papel de alquitrán	0,92
Agua	0,98

*La emisividad de la mayoría de los materiales se mide a 0°C pero no varían mucho a temperatura ambiente.

Figura 4-6. Los valores de emisividad para muchos materiales habituales se pueden encontrar en tablas de emisividad.

Temperatura de superficie

Normalmente, debido a los patrones de temperatura de superficie de la mayoría de los objetos (ya que son opacos), los técnicos tienen que interpretar y analizar estos patrones y relacionarlos con las temperaturas y estructuras internas de los objetos. Por ejemplo, la pared exterior de una casa mostrará patrones de varias temperaturas, pero la tarea del técnico es relacionarlas con la estructura y la eficiencia térmica de la casa. Para hacer esto con precisión, se hace necesaria una comprensión básica de la forma en la que se mueve el calor a través de los diferentes componentes y materiales de la pared.

En épocas de frío, el calor del interior de la casa se transfiere a través de la estructura de la pared hacia la superficie exterior. Después la superficie encuentra el equilibrio térmico con su entorno. Esto es lo que los técnicos pueden ver de la superficie con una cámara termográfica, y deben interpretar lo que esta muestra. Estas relaciones pueden ser con frecuencia bastante complejas, pero en muchos casos la mejor manera

de entenderlas es a través del sentido común y la consideración de conceptos científicos básicos.

Emisividad

Las lecturas de una imagen térmica de metales que no están pintados o que están poco oxidados resultan muy difíciles, ya que emiten poco y reflejan mucho. Tanto si solo estamos considerando los patrones térmicos o como si estamos realmente haciendo una medida radiométrica de la temperatura, necesitamos tener en cuenta estos factores. En muchas cámaras termográficas, se pueden hacer correcciones tanto de la emisividad como de la temperatura reflejada de fondo. Se han desarrollado tablas de corrección de la emisividad para muchos materiales.

Aunque las tablas de corrección de la emisividad pueden resultar útiles para entender cómo se comportará un material, la realidad es que, cuando se hace una corrección en la mayoría de las superficies de baja emisividad, el margen de error puede ser inaceptablemente grande. Las superficies de baja emisividad deben alterarse de algún modo, por ejemplo cubriéndolas con cinta aislante o pintura, con el objeto de aumentar la emisividad. Esto hace que tanto la interpretación como la medida sean precisas y resulten prácticas.

PRECISIÓN EN LA MEDIDA DE TEMPERATURAS

La precisión de los instrumentos actuales de medida por infrarrojos es bastante alta. Cuando se observan superficies moderadamente calientes de alta emisividad dentro de la resolución de medidas de un sistema, la precisión de la medida normalmente es de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ o del 2% de la medida (aunque puede variar el función del modelo de cámara termográfica). Además, puesto que los instrumentos de medida por infrarrojos no necesitan estar en contacto con los objetos de

los que se toma la lectura, la tecnología infrarroja tiene un enorme valor por la gran precisión de sus medidas.

Puesto que la medida de la temperatura se basa en la detección de la radiación infrarroja, es previsible que los siguientes factores reduzcan la precisión de las medidas de temperatura:

- Valores de emisividad por debajo de 0,6
- Variaciones de temperatura de $\pm 30^{\circ}\text{C}$
- Realización de medidas por encima de la resolución del sistema (blanco muy pequeño o muy lejano)
- Campo de visión

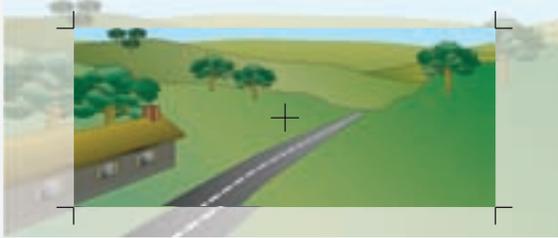
Campo de visión (FOV)

El *campo de visión (FOV)* es una característica que define el tamaño de lo que se ve en la imagen térmica. La lente es el componente de mayor influencia en la conformación del campo de visión, independientemente del tamaño de la matriz. Sin embargo, cuanto más grandes sean las matrices mayor será la resolución, independientemente de la lente utilizada, en comparación con matrices más estrechas. En algunas aplicaciones, como en subestaciones al aire libre o dentro de un edificio, resultará útil un campo de visión grande. Aunque se pueden obtener los detalles suficientes con matrices más pequeñas en el caso de un edificio, se necesitará más cantidad de detalles para el trabajo en subestaciones. Consulte la figura 4-7.

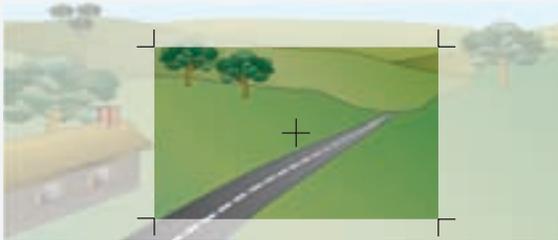
Campo de visión instantáneo (IFOV)

El *campo de visión instantáneo (IFOV)* es la característica utilizada para describir la capacidad de una cámara termográfica para resolver detalles espaciales (resolución espacial). Normalmente el campo de visión instantáneo viene especificado como un ángulo en miliradianes (mRad).

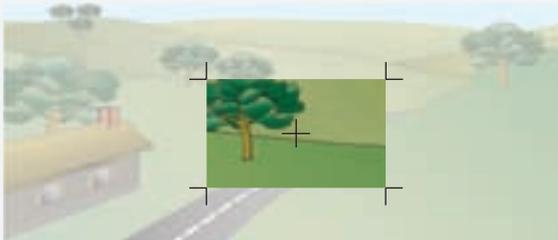
Campo de visión (FOV)



FOV ANCHO - LENTE GRAN ANGULAR



FOV NORMAL - LENTE ESTÁNDAR



FOV ESTRECHO - LENTE TELEOBJETIVO

Figura 4-7. El campo de visión (FOV) es una característica que define la superficie que se ve en la imagen térmica cuando se utiliza una lente específica.

Cuando se proyecta desde un detector a través de una lente, el campo de visión instantáneo da el tamaño de un objeto que puede verse a una cierta distancia.

El *Campo de Visión Instantáneo de medida* o *IFOV_m* es la resolución de la medida de una cámara termográfica que describe el tamaño mínimo que debe tener un objeto para que pueda medirse a una distancia concreta. **Consulte la figura 4-8.** El IFO_m se expresa también como un ángulo (en mRad) aunque generalmente es tres

veces mayor que el Campo de Visión Instantáneo o IFOV. Esto se debe a que una cámara necesita más información sobre la radiación del blanco para medirlo que para detectarlo. Es muy

CONSEJO TÉCNICO

Todos los blancos de las cámaras termográficas irradian energía que puede medirse en el espectro infrarrojo. Conforme se calienta el blanco, se irradia mayor energía. Los blancos muy calientes irradian la suficiente energía como para que la pueda ver el ojo humano.

importante entender y trabajar dentro de la resolución espacial y de medida de cada sistema particular. De no hacerlo así, se puede incurrir en datos poco precisos o pasar por alto aspectos relevantes.

Efectos ambientales

La fiabilidad de una medida superficial, incluso siendo exacta, puede reducirse significativamente cuando el gradiente térmico entre la superficie visualizada y el foco de calor interno es elevado, como ocurre en el caso de las conexiones internas defectuosas en equipos eléctricos rellenos con aceite. Sencillamente, el técnico no verá mucho cambio en la superficie conforme cambia la conexión interna. Resulta sorprendente observar

que incluso objetos como las conexiones eléctricas con pernos tienen gradientes elevados, incluso en distancias pequeños. Por consiguiente, se debe tener cuidado en todo momento al interpretar una imagen térmica para entender cuál será realmente el estado interno.

Se produce una disminución similar de la fiabilidad cuando las influencias externas sobre la temperatura de la superficie son significativas o se desconocen. Por ejemplo, esto puede ocurrir al visualizar el tejado de un edificio con poca inclinación para detectar la entrada de humedad cuando hace mucho viento. No se ven muestras de humedad. La firma o patrón térmico característico suele desaparecer. Las superficies mojadas también pueden ser causa de confusión cuando existe evaporación o congelación.

Resolución espacial y de medida



Figura 4-8. El Campo de Visión Instantáneo de medida o IFOVm es la resolución de la medida de una cámara termográfica que determina el tamaño mínimo que debe tener un objeto para que pueda medirse su temperatura con precisión a una distancia concreta. El Campo de Visión Instantáneo (IFOV) es parecido a ver una señal en la distancia mientras que el Campo de Visión Instantáneo de medida (IFOVm) es parecido a leer una señal, bien porque está más cerca o porque es más grande.



IMÁGENES TÉRMICAS A COLOR DE APLICACIONES

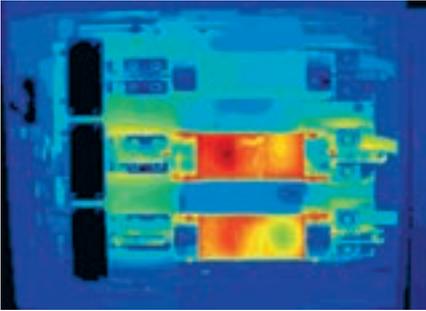


Figura 5-1. El “punto caliente” en una imagen térmica no siempre indica el problema principal. Es posible que el fusible superior se haya fundido y que también exista un problema con el fusible central.

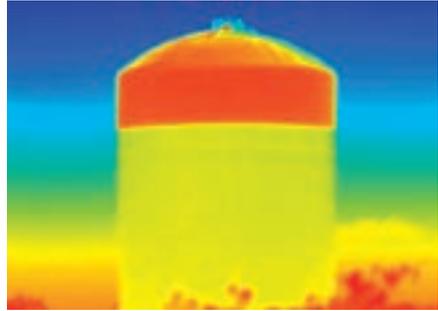


Figura 5-2. En las condiciones adecuadas, se puede detectar con facilidad el nivel de líquido de un depósito.

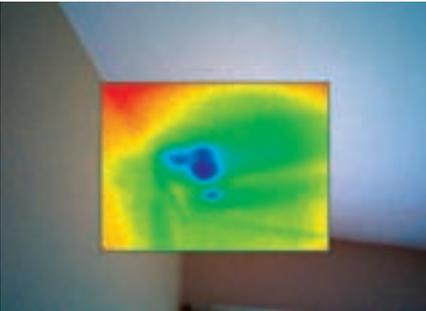


Figura 5-3. Un punto azul (u oscuro) en una imagen térmica muestra una humedad anormal en un techo.

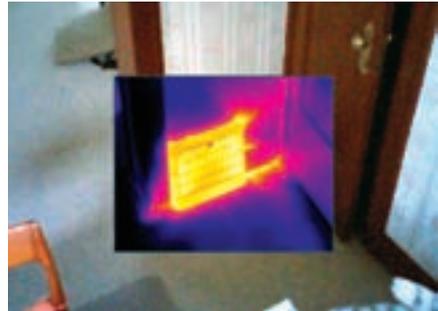


Figura 5-4. Los patrones térmicos de color más claro y tenue en esta imagen térmica en formato imagen en imagen (PIP) del registro de un sistema de climatización indican una fuga de aire excesiva en las conexiones de las tuberías.

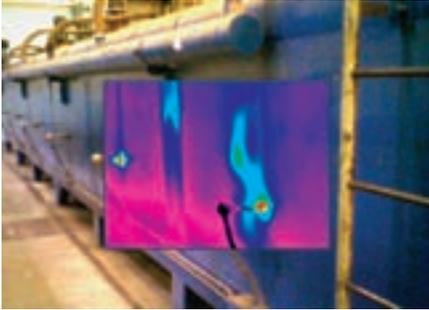


Figura 5-5. Los patrones térmicos anormales en un horno de recocido pueden indicar la posible ruptura del aislamiento refractario.

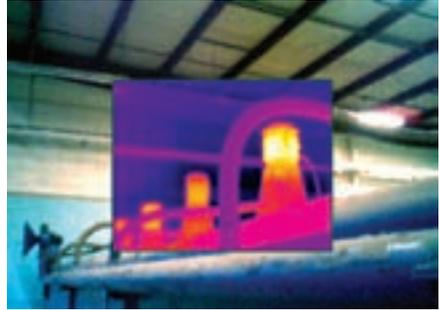


Figura 5-6. El motor del ventilador de circulación en el lateral derecho de este horno de recocido puede presentar un posible problema, puesto que está funcionando a mayor temperatura que los demás.

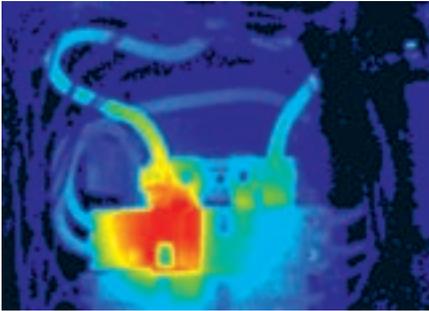


Figura 5-7. En la imagen térmica se puede ver con facilidad una conexión donde hay una resistencia alta o el funcionamiento incorrecto de un componente en un interruptor automático residencial, lo que no se puede apreciar en la imagen con luz visible.

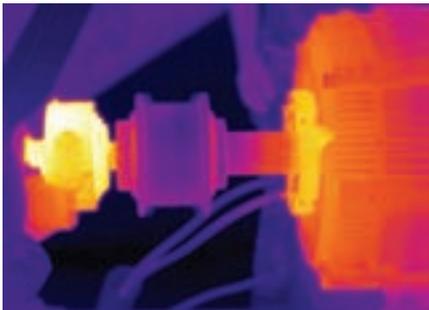


Figura 5-8. Pese a que la imagen térmica de un motor y de su acoplamiento muestra patrones térmicos en ambos lados que indican un problema de alineación del acoplamiento, en la imagen con luz visible no se puede apreciar ningún problema.

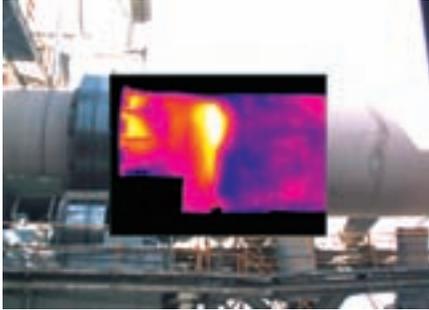


Figura 5-9. Se puede utilizar la termografía para controlar el rendimiento del refractario en función del tiempo y detectar zonas con problemas en hornos de cemento y otros equipos de transformación.

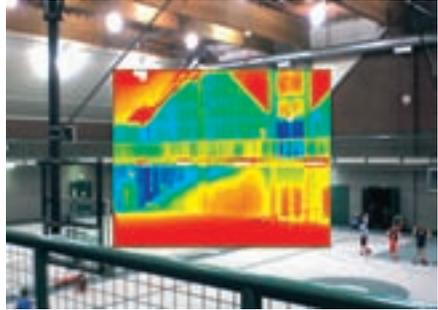


Figura 5-10. La termografía se puede utilizar para ver estructuras ocultas en los edificios así como otros elementos, como el muro de tierra en el exterior de este pabellón deportivo.

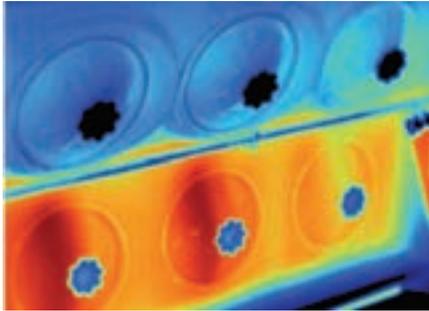


Figura 5-11. El fallo del encendido en el cilindro de una planta termoeléctrica de combustión de gasóleo muestra patrones térmicos diferentes y más fríos que los cilindros que funcionan con normalidad.



Figura 5-12. Las cámaras termográficas se pueden utilizar para explorar grandes edificios e instalaciones y localizar variaciones térmicas anormales que podrían señalar posibles problemas.

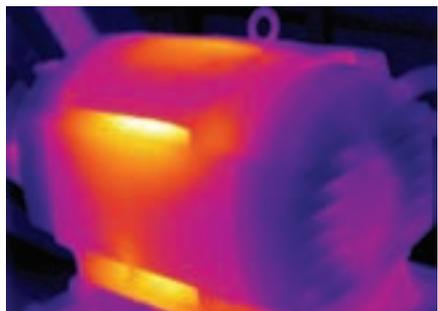


Figura 5-13. La imagen térmica de un motor que funciona con normalidad en un sistema de refrigeración por aire muestra el calor que se disipa por las aberturas de ventilación.

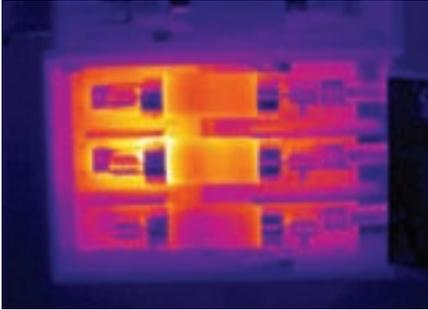


Figura 5-14. La zona de color claro del bloque de fusibles indica la posibilidad de un problema debido a resistencia elevada o un problema interno relacionado con la fase central.

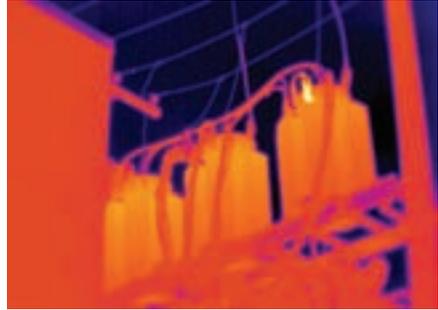


Figura 5-15. Una boquilla y una toma calientes en un transformador son una señal clara de problemas.



Figura 5-16. Una conexión con una resistencia alta en un puente de conexión (posiblemente debido a la corrosión) puede tener consecuencias significativas si la carga aumenta.

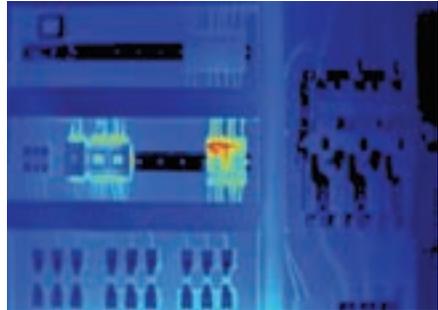


Figura 5-17. Mediante el uso de una cámara termográfica, se puede detectar fácilmente un problema con un componente interno en un centro de control de motores (CCM).

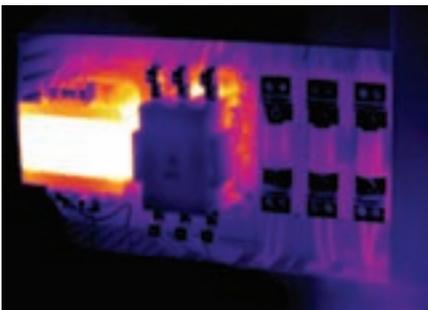


Figura 5-18. Se podría pasar por alto un posible desequilibrio de la carga en el fusible derecho a menos que se ajuste el nivel y el rango de la imagen.



Figura 5-19. Con el conocimiento apropiado sobre el equipo mecánico, un técnico puede realizar muchas tareas de resolución de problemas y de mantenimiento.

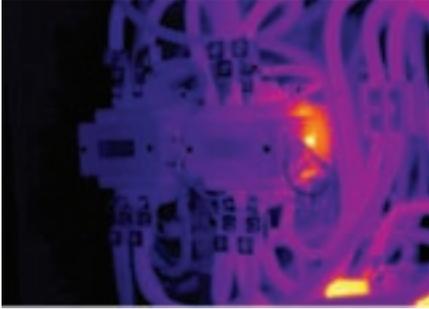


Figura 5-20. Los posibles problemas internos se hacen visibles al comparar dos componentes similares bajo las mismas condiciones de carga.

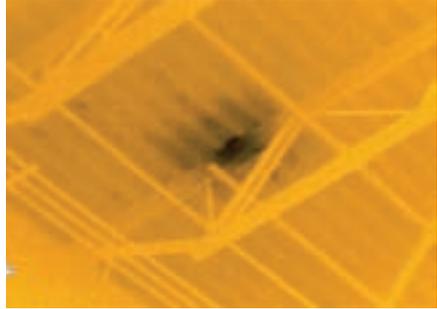


Figura 5-21. Las cámaras termográficas se puede utilizar para detectar un aislamiento húmedo relacionado con la fuga de agua en un tejado con poca inclinación. Si las condiciones son las adecuadas y la cubierta metálica del tejado está pintada, puede ser posible detectar dichas firmas desde el interior.

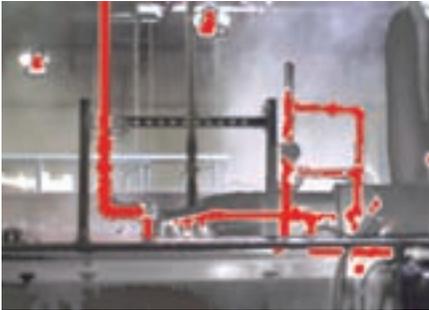


Figura 5-22. El uso de colores saturados y de alarmas de color en una paleta de grises puede resultar útil para determinar las válvulas de agua caliente y de vapor que estén abiertas y funcionando correctamente.

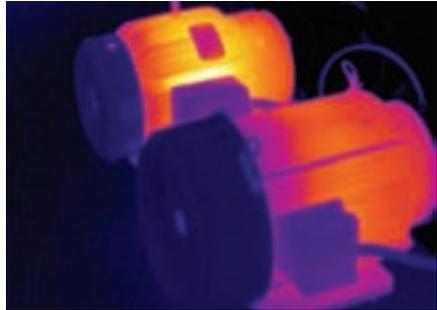


Figura 5-23. Aunque dos grupos motor-bomba distintos muestren patrones térmicos distintos, es posible que ambos patrones estén indicando un funcionamiento aceptable.

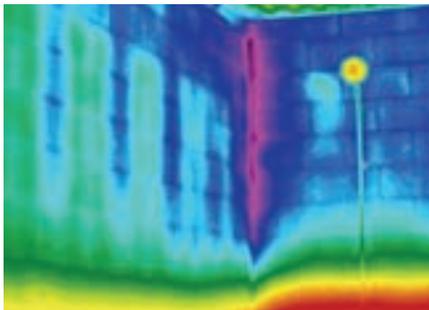


Figura 5-24. Los patrones térmicos de una pared de bloques muestran la entrada de humedad por la unión de las dos paredes, así como irregularidades anormales en la construcción.

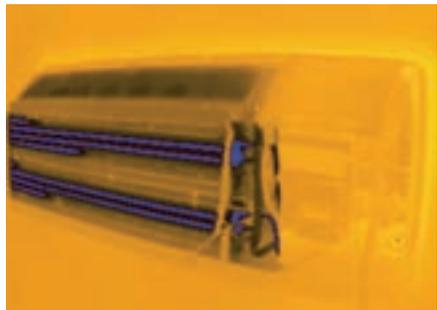


Figura 5-25. Las zonas de color oscuro muestran el refrigerante pasando a través del serpentín de un aire acondicionado comercial de pared.



Figura 5-26. En la termografía, los efectos producidos por materiales de baja emisividad se hacen evidentes en la imagen de un camión cisterna metalizado. El metal refleja el frío del cielo despejado y el calor que irradia la tierra en un día soleado.

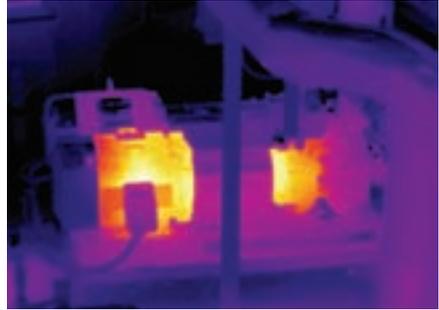


Figura 5-27. La termografía se puede utilizar para determinar cuando un equipo no está funcionando correctamente. La imagen térmica del grupo motor-bomba en la parte trasera indica que se ha detenido sin motivo aparente.

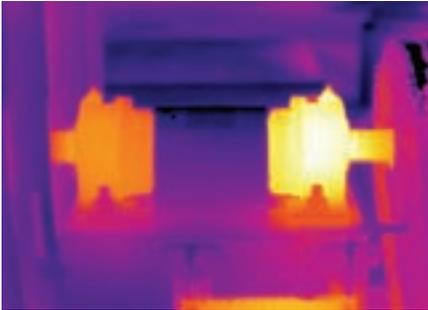


Figura 5-28. La tapa del rodamiento derecha de esta unidad de ventilación está significativamente más caliente que la otra, lo que indica un posible problema de lubricación, alineación o de correas.

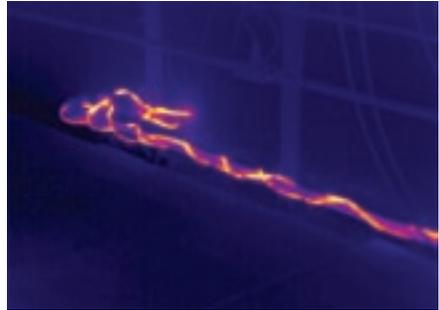


Figura 5-29. La termografía también se puede utilizar incluso en aplicaciones como la resolución de problemas de un cable de calentamiento en una tubería exterior de agua, que no puede congelarse cuando hace frío.

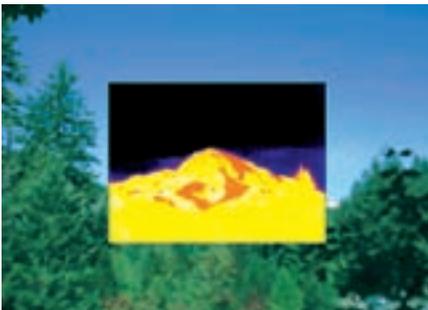


Figura 5-30. Todo emite energía infrarroja, incluyendo los fríos glaciares de los picos montañosos.

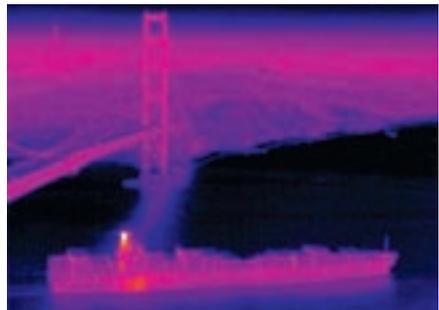


Figura 5-31. La imagen térmica nocturna de un buque de contenedores muestra que se puede detectar el conducto de escape y la sala de máquinas incluso desde grandes distancias.

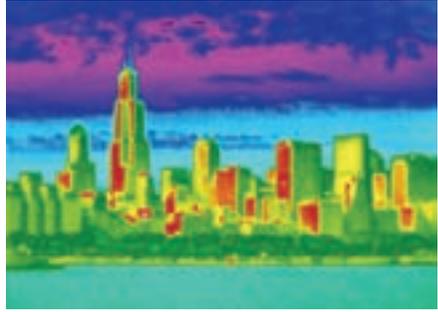


Figura 5-32. En una foto con luz visible, son difíciles de identificar con claridad los detalles del perfil de la ciudad, o del cielo, en un día caluroso de verano. Sin embargo, mediante la termografía, se pueden ver fácilmente estos detalles, así como los diferentes tipos de nubes en el cielo.

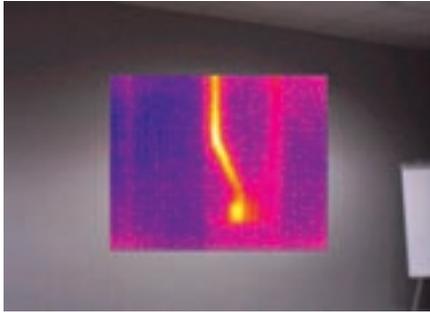


Figura 5-33. Incluso la detección de pequeñas variaciones de temperatura de superficie puede indicar serios problemas, como un cable de neutro compartido o una conexión a tierra incorrecta en una instalación eléctrica. Esto puede hacer que el conductor metálico del interior de la pared se caliente hasta tal punto que exista peligro de incendio.

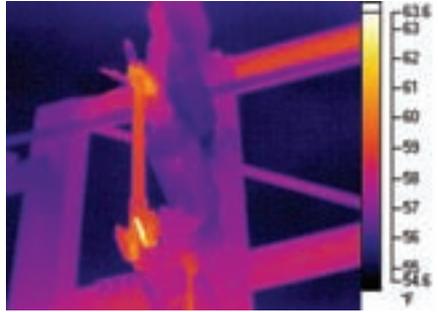


Figura 5-34. La localización de problemas, como un pasador caliente y los extremos de la charnela de un interruptor seccionador de alta tensión, puede ser simple cuando la carga es la adecuada y hay poco o nada de viento.

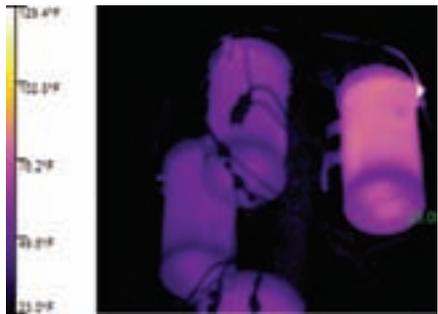


Figura 5-35. Mediante el uso de cámaras termográficas se pueden detectar problemas a grandes distancias (izquierda). Para un análisis más detallado suele tener que trabajarse con una lente teleobjetivo o situándose más cerca del equipo (derecha).

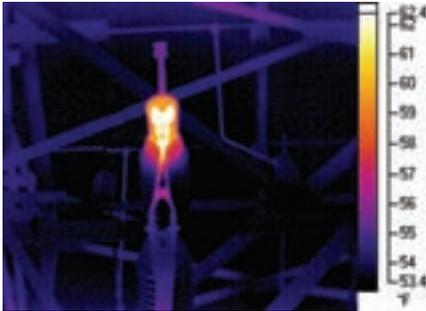


Figura 5-36. Un calentamiento anormal debido a una elevada resistencia en un desconectador suele representar un problema grave y costoso, ya que incluso a temperaturas relativamente bajas se pueden producir daños.

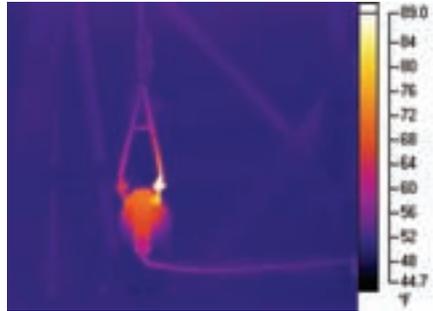


Figura 5-37. Debido a que existen vías de flujo de corriente paralelas en muchos desconectadores, el "punto caliente" puede ser la firma térmica de una conexión normal mientras que la parte más fría puede indicar el problema real.

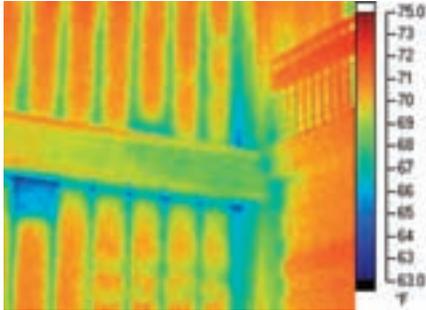


Figura 5-38. La falta de una pequeña parte del aislamiento de fibra de vidrio en un edificio puede causar una fuga anormal de aire en los bordes de otras zonas.



Figura 5-39. Debido a un cerramiento deficiente, el aire caliente puede atravesar el aislamiento de fibra de vidrio como ha ocurrido en muchas secciones de este edificio comercial.



Figura 5-40. Un transformador que parece funcionar a mayor temperatura que otros en lo alto de una estructura metálica, puede ser la señal de un posible problema.

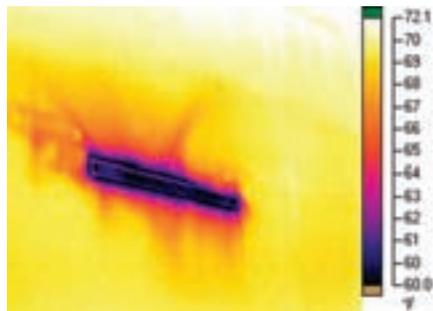


Figura 5-41. El aire acondicionado puede fugarse por las juntas de las tuberías de un sistema de climatización hacia la pared por detrás del difusor.

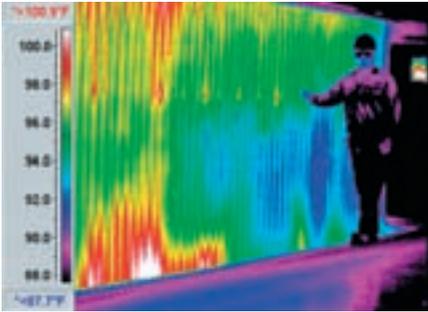


Figura 5-42. Las zonas más calientes de la superficie de una caldera pueden estar provocadas por una avería en el refractario, una fuga de aire o una combinación de ambas.

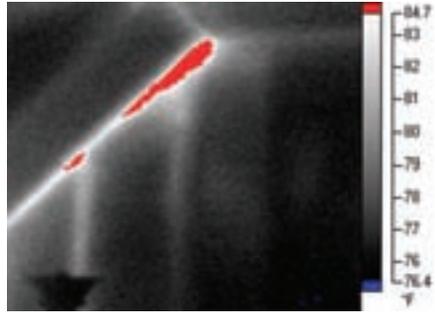


Figura 5-43. La "paleta de saturación" de color rojo muestra claramente el mal ajuste de un aislamiento de fibra de vidrio.

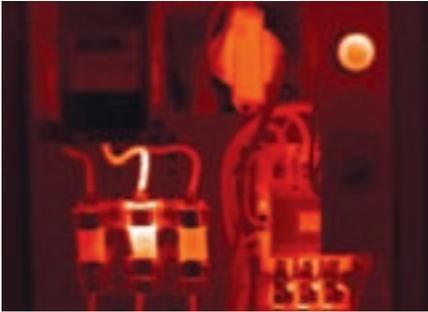
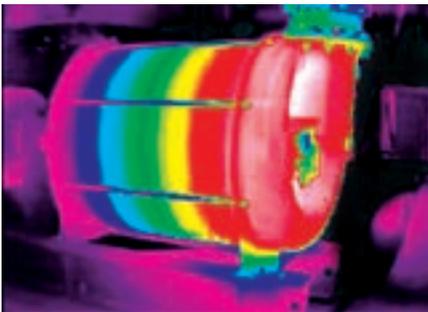


Figura 5-44. La conexión al portafusibles en el centro de control de motores (CCM) está más caliente de lo normal.



Figura 5-45. Se puede comprobar rápidamente la temperatura de la carcasa del motor para determinar si está funcionando con normalidad.



G. McIntosh
Figura 5-46. Se puede ver que este compresor de aire multietapa está funcionando correctamente al observar un aumento de la temperatura de cada etapa.

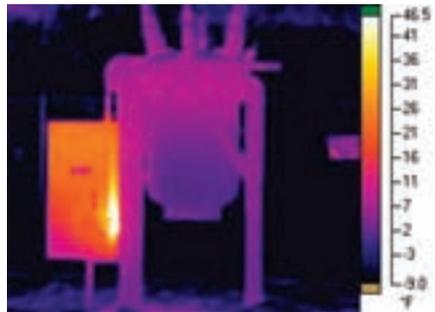


Figura 5-47. Se puede utilizar la termografía para documentar si una resistencia de calefacción dentro de un armario de control está llevando con normalidad su función de reducir al mínimo los problemas de condensación.



Figura 5-48. La imagen térmica desde el exterior de un edificio puede mostrar claramente zonas con problemas, como las zonas más claras donde falta aislamiento.



Figura 5-49. Las zonas donde no hay aislamiento aparecen como puntos calientes vistos desde el exterior del edificio durante épocas de frío.

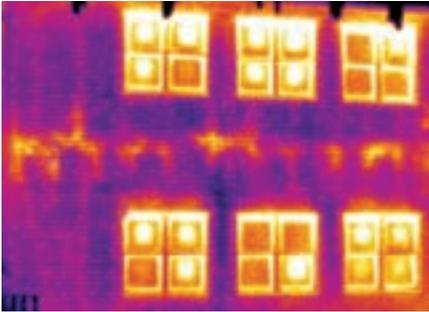


Figura 5-50. Los puntos calientes en el centro de las ventanas con doble acristalamiento pueden indicar pérdida de argón, utilizado como gas aislante, que normalmente rellena el espacio entre los panales de las ventanas.

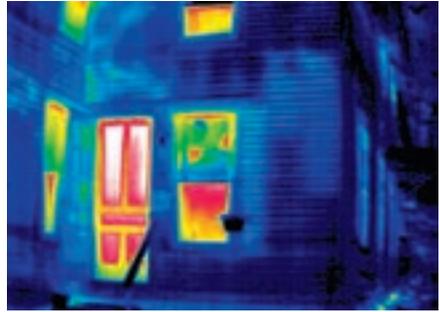


Figura 5-51. La termografía se puede utilizar para documentar la falta o el deterioro del aislamiento.

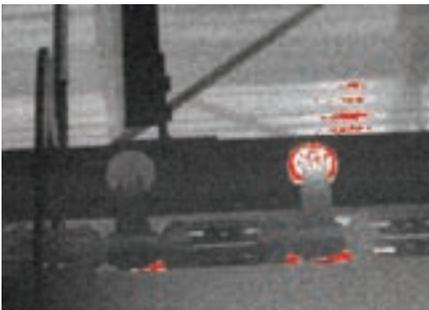


Figura 5-52. Un rodamiento anormalmente caliente en una carretilla elevada puede conducir a un consumo excesivo de energía así como al estiramiento de la cadena con el tiempo.



Figura 5-53. Una zona de aislamiento mojado en un tejado aparece como un punto caliente en el tejado a primera hora de la tarde, cuando las condiciones son las más óptimas para tomar imágenes térmicas.

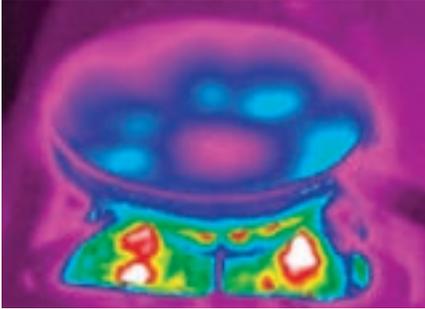


Figura 5-54. Una olla de cocina de hierro fundido muestra una firma térmica única conforme se calienta.

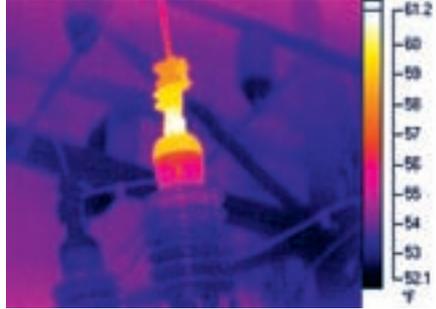


Figura 5-55. La zona de color claro de este interruptor automático en aceite muestra que la conexión interna que va de la tapa de la boquilla a la barra de la boquilla está más caliente de lo normal.

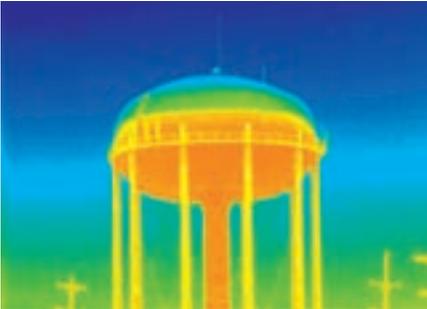


Figura 5-56. La zona de color claro indica el nivel de agua en un depósito de agua.

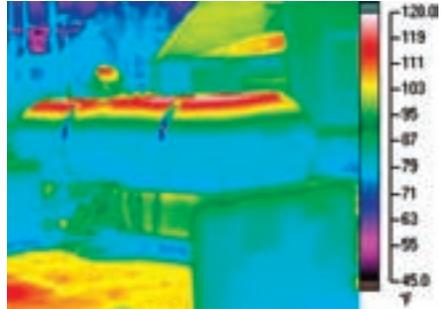


Figura 5-57. Usando una cámara termográfica, se puede ver con facilidad el nivel de un depósito de propano.

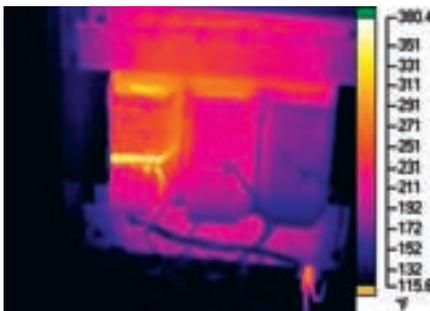


Figura 5-58. La firma térmica de un transformador trifásico de tipo seco indica que el cable principal que va a la fase de la izquierda está más caliente de lo normal.

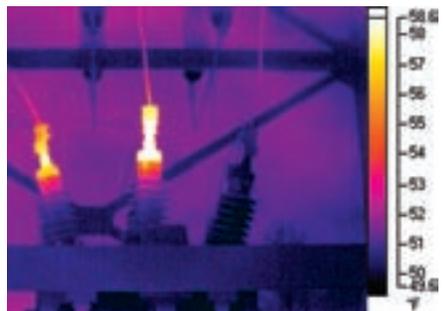


Figura 5-59. Dos de las seis tapas de boquilla del interruptor automático en aceite están más calientes de lo normal. Esto significa que su estado podría haber supuesto un gran coste de no haberse detectado y reparado.

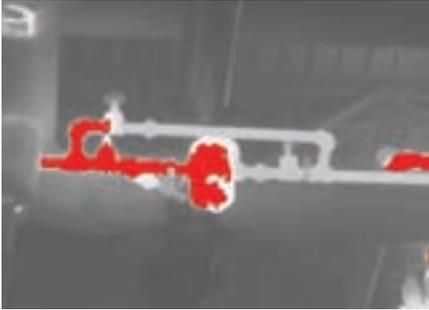


Figura 5-60. Un colector de vapor que funciona correctamente debería estar más caliente en la parte donde está el vapor y más frío en la zona de condensación, tal y como se muestra en la imagen.



Figura 5-61. Es fácil ver el nivel de líquido de un depósito con una cámara termográfica cuando las condiciones son óptimas.

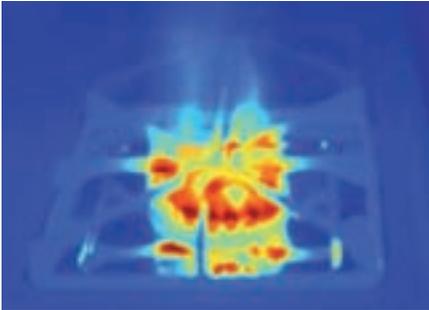


Figura 5-62. Aunque el quemador de cocina aparezca caliente, casi no se puede ver la llama en una imagen térmica de onda larga.

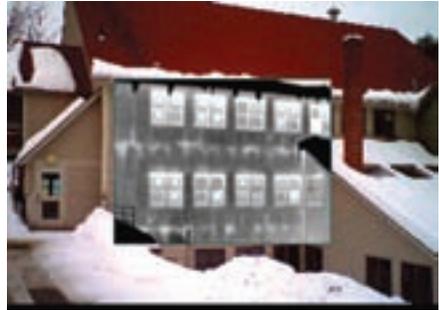


Figura 5-63. La presencia de muchas zonas calientes en la fachada de un edificio está asociada a la mala instalación del aislamiento de fibra de vidrio.



Figura 5-64. Aparte del aislamiento mojado, hay muchos objetos en un tejado que pueden tener una firma térmica, por ejemplo, la salida de aire de un sistema de climatización.

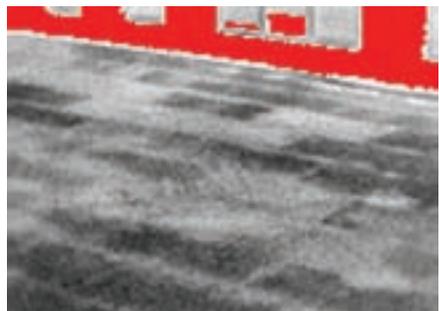


Figura 5-65. Las firmas térmicas en tejados de una sola placa con aislamiento de espuma pueden ser más sutiles que las firmas encontradas en tejados de obra.

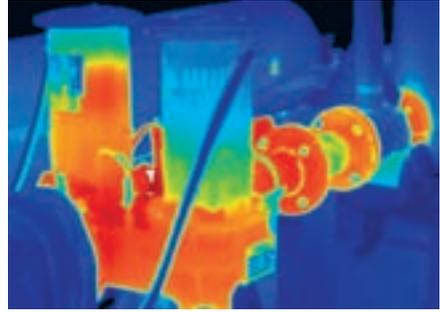
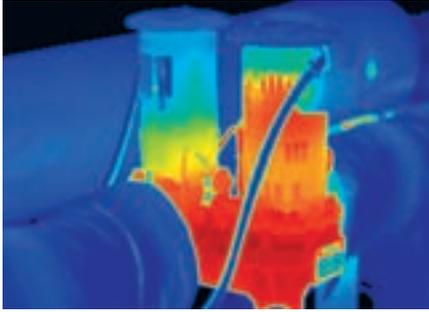


Figura 5-66. Se puede utilizar la firma térmica para determinar el funcionamiento de cada etapa en una bomba de dos etapas.



Figura 5-67. El rozamiento de la correa con la bandeja en un sistema de cinta transportadora crea un punto caliente en la firma térmica. La correa se había desalineado debido al desgaste de un cojinete de rodillos próximo. Como resultado, el aumento del rozamiento provocó el sobrecalentamiento del motor de arrastre.

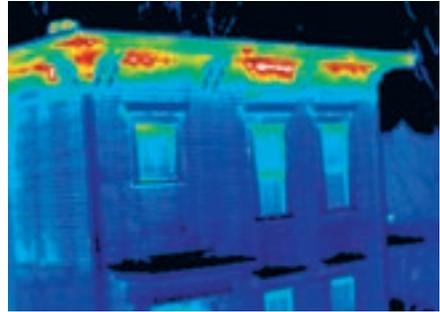


Figura 5-68. Una pérdida excesiva de calor puede estar provocada por el aire caliente que pasa a través del aislamiento y puede suponer un problema importante y de elevado coste en muchos edificios aun cuando estén provistos de aislamiento.

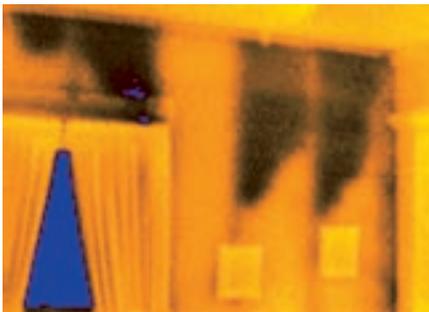


Figura 5-69. La colocación incorrecta del aislamiento de espuma de relleno en un hueco de la pared puede asentarse de este modo y no ofrecer todo el rendimiento que debiera.



Figura 5-70. La nariz de la cara de una persona suele estar más fría que otras partes de la cara debido al menor flujo sanguíneo y a un mayor enfriamiento convectivo.

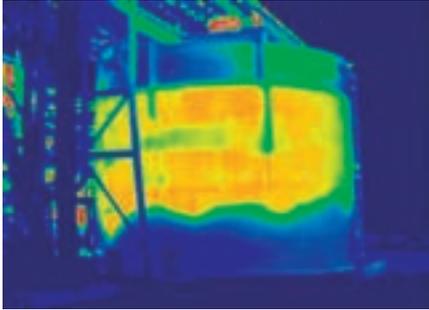


Figura 5-71. Cuando un depósito está en transición térmica, los niveles de líquido y lodo suelen ser fáciles de detectar.

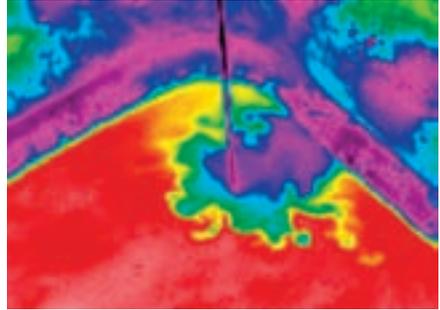


Figura 5-72. Cuando se abre un grifo de agua fría sobre un fregadero con agua caliente se producen transferencias de calor por convección.



Figura 5-73. La cúpula chapada en oro de un edificio histórico refleja el cielo relativamente frío.

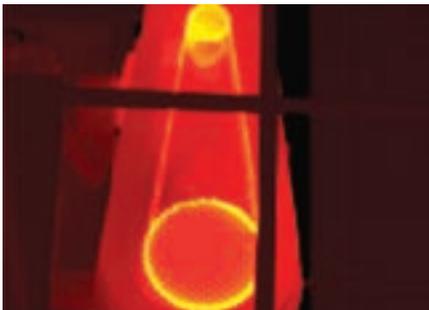


Figura 5-74. Las zonas de color claro de la imagen térmica de una correa y sus poleas indican que es probable que estén desalineadas.

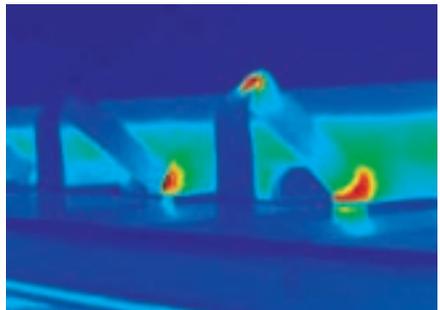


Figura 5-75. Las zonas de color rojo de la imagen indican que varios cojinetes de los rodillos de la cinta transportadora están más calientes de lo normal.

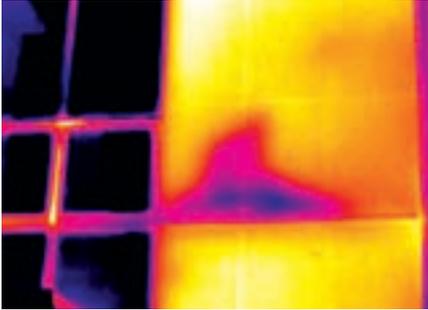


Figura 5-76. La humedad puede penetrar a través de la fachada de piedra de la estructura de un edificio, haciéndolo vulnerable a posibles daños.

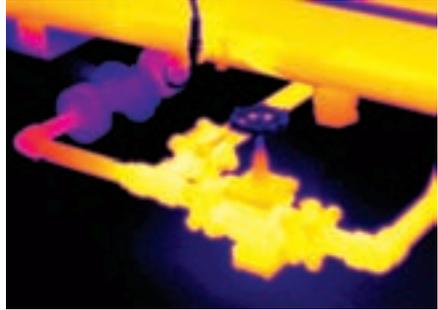


Figura 5-77. Esta imagen térmica muestra una válvula hidráulica abierta funcionando con normalidad.

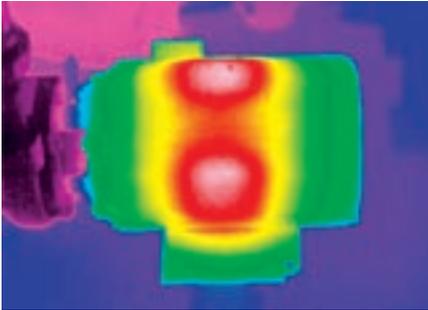


Figura 5-78. El patrón de calentamiento del motor de una bomba que funciona con normalidad tiene una firma térmica uniforme.

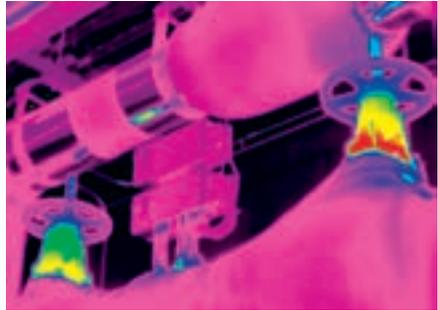


Figura 5-79. En este sistema de vapor, las zonas de color claro indican por donde se escapa el calor desde las zonas sin aislamiento próximas a las válvulas.

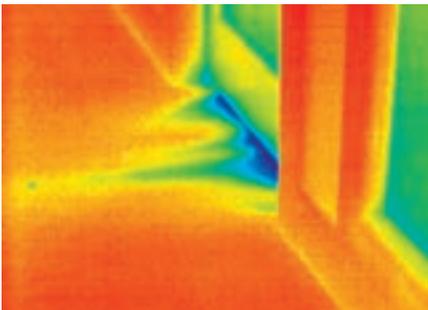


Figura 5-80. El aire frío que se escapa por debajo de una puerta deja un patrón tenue con forma de dedo.

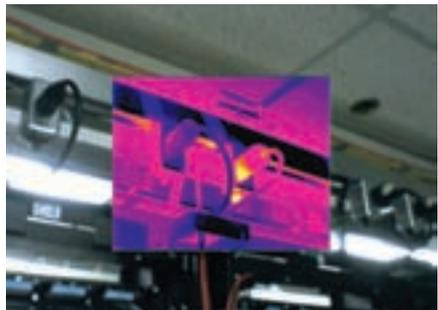


Figura 5-81. La conexión eléctrica de la derecha de un grupo de servidores muestra un patrón térmico que indica que existe una conexión con una alta resistencia o que hay un problema en el cableado interno.

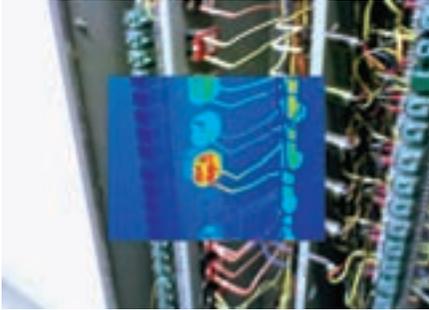


Figura 5-82. La zona de color vivo indica una posible conexión con alta resistencia o el fallo de un componente en este panel de control de iluminación.

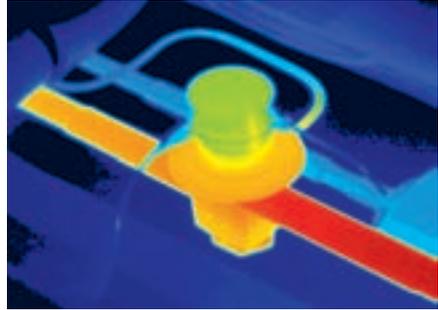


Figura 5-83. La diferencia de color a los lados de esta unidad condensadora en línea y de la válvula de derivación indica un funcionamiento normal.



Figura 5-84. Esta imagen térmica indica que el transformador de la derecha puede tener una avería interna.

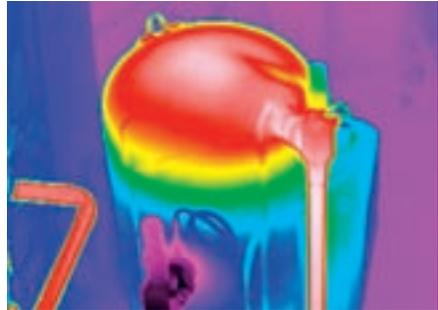


Figura 5-85. La imagen térmica del compresor de un sistema de climatización que funcione con normalidad puede mostrar amplias diferencias de temperatura entre sus distintas partes y componentes.

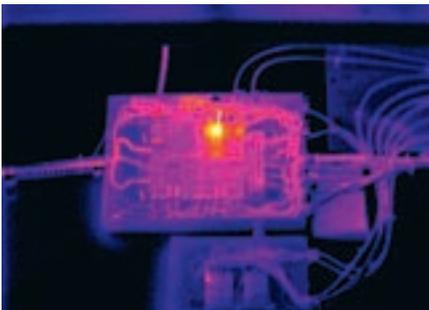


Figura 5-86. La termografía se puede utilizar para hacer un seguimiento del calor en conexiones con alta resistencia en sistemas de control de baja tensión.

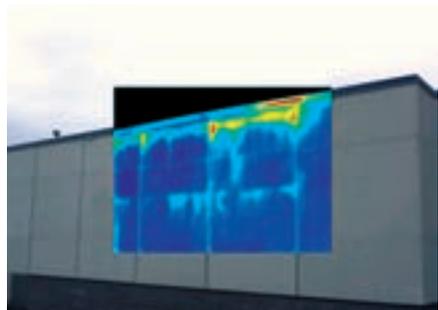


Figura 5-87. La humedad provocada por el drenaje inapropiado de un tejado puede penetrar en los bloques de cemento y la fachada de un edificio.



APLICACIONES TERMOGRÁFICAS

La termografía se puede utilizar en aplicaciones como la inspección de equipos eléctricos y de transformación así como para el diagnóstico de edificios. Son equipos eléctricos los motores, los sistemas de distribución y las subestaciones. Son equipos de transformación los equipos automatizados de fabricación y en líneas de ensamblaje. El diagnóstico de edificios se refiere a la comprobación de humedades en tejados, la inspección del aislamiento de los edificios para encontrar fugas de aire y la detección de humedades. El aislamiento se compone de materiales colocados en paredes, techos y suelos del cerramiento térmico de un edificio.

APLICACIONES ELÉCTRICAS

Las cámaras termográficas se utilizan sobre todo para la inspección de la integridad de los sistemas eléctricos ya que sus procedimientos de comprobación no necesitan el contacto directo y se pueden realizar rápidamente. La mayor parte del trabajo termográfico en aplicaciones eléctricas es cualitativo, es decir, simplemente compara las firmas térmicas de componentes similares. Una firma térmica es una “fotografía” en un instante del tiempo determinado del calor que sale, o que se emite, desde un objeto. En el caso de los sistemas eléctricos trifásicos es muy sencillo, puesto que en condiciones normales las fases casi siempre tienen firmas térmicas de fácil comprensión.

La termografía es particularmente efectiva porque las averías de los equipos suelen tener firmas térmicas claras y reconocibles. Además, se pueden apreciar excepciones térmicas incluso cuando se vea muy poco mediante la inspección visual, si es que se ve algo. Una *excepción térmica* es un estado anormal o de sospecha localizado en un equipo. Aunque no siempre es posible detectar las excepciones térmicas o entender bien el origen del problema, no hay duda de que el calor producido por la alta resistencia eléctrica suele preceder a las averías eléctricas.

Cuando una o más fases o componentes presentan una diferencia de temperatura, por causas no relacionadas con el equilibrio normal de la carga, es posible que exista una excepción térmica. Por ejemplo, una resistencia más alta de lo normal provoca el calentamiento del punto de conexión. Sin embargo, en una avería, y por ello sin corriente eléctrica, los componentes pueden aparecer más fríos.

Un cuadro eléctrico abierto puede implicar un alto riesgo para el técnico. Por lo general, la electrocución no suele ser un problema ya que la termografía no necesita de contacto directo. Sin embargo, sí existe la posibilidad de un choque eléctrico por arco de tensión, especialmente a 480 V o más.

Por ejemplo, al abrir una puerta se puede producir un arco de tensión si el pestillo es defectuoso o se perturba el estado de objetos presentes dentro del cuadro, como insectos y polvo o restos de escombros. Esto puede provocar un arco de tensión entre la fase y el neutro. Una vez tiene comienzo, un arco de tensión puede alcanzar temperaturas de más de 16.650°C en menos de medio segundo. Los cuadros con componentes eléctricos bajo tensión con corriente solo deberían ser abiertos por personal autorizado y cualificado.

Los termógrafos deberían hacer todos los esfuerzos posibles para entender y reducir al mínimo el riesgo de choque eléctrico por arco de tensión. Las agencias estatales en el ámbito internacional pueden informar sobre los requisitos necesarios para reducir al mínimo la formación de arcos de tensión. Estos requisitos incluyen la formación pertinente en riesgos laborales, procedimientos para realizar inspecciones y conocimiento sobre el equipo de protección individual (EPI) necesario. El equipo de protección individual está diseñado para amortiguar el posible daño provocado por el intenso calor de un arco de tensión y suele incluir protección para ojos, cabeza, piel y manos.

Consulte la figura 6-1.

Las técnicas para la inspección de sistemas eléctricos se basan en el sentido común, la tecnología y las buenas prácticas de mantenimiento. Siempre que sea posible,

los componentes y el equipo deberían recibir corriente y ser visualizados directamente con una cámara termográfica.

En ocasiones, se tienen que hacer las inspecciones desde una vista indirecta, como en el caso de la caja de empalmes de un motor o un cableado aéreo encerrado en una canaleta. Aunque se puede tratar de una alternativa necesaria en algunas situaciones, como en el caso de un cableado aéreo, no se recomienda como procedimiento habitual. Si no se puede abrir un cuadro, los datos procedentes de la inspección térmica pueden no ser suficientes por sí mismos.

Algunos equipos pueden tener un acceso tan difícil y/o peligroso que hagan necesarias otras medidas de inspección. Existen métodos de inspección adicionales, como el uso de puertas de visualización o ventanas transparentes al infrarrojo, para conseguir una vista del interior del cuadro. También se pueden utilizar otras tecnologías como ultrasonidos.

Equipo de protección individual (EPI)



Figura 6-1. El equipo de protección individual incluye protección de ojos, cabeza, piel y manos y está diseñado para amortiguar el posible daño causado por el calor intenso y otros peligros provocados por un arco de tensión.

Para poder garantizar que todos los componentes y dispositivos se puedan ver, se requiere la colocación estratégica de una ventana transparente al infrarrojo. Una ventana transparente al infrarrojo es un dispositivo instalado en un cuadro eléctrico para posibilitar la transmisión de energía infrarroja para que pueda visualizarse con una cámara termográfica. Las ventanas transparentes al infrarrojo suelen permitir el uso de la termografía sin la necesidad de abrir las puertas o paneles del cuadro. Consulte la figura 6-2.



Figura 6-2. Las ventanas transparentes al infrarrojo se utilizan para permitir la transmisión de la energía infrarroja hacia una cámara termográfica sin tener que abrir las puertas o los paneles del cuadro.

También es posible utilizar dispositivos que detectan ultrasonidos. Los *ultrasonidos* son sonidos producidos por una conexión eléctrica defectuosa. Están fuera del rango de audición natural pero se pueden detectar con dispositivos de escucha especiales. Incluso un micro arco de tensión en una conexión suele producir una firma

ultrasonica a través de una grieta o un orificio pequeño en el cuadro.

Durante una inspección, se debe poner especial atención a cualquier conexión eléctrica o punto de contacto eléctrico. Las conexiones eléctricas y los puntos de contacto son susceptibles de calentarse debido a resistencias anormalmente altas y son el foco principal de averías del sistema.

También pueden detectarse los desequilibrios de la corriente eléctrica entre las fases. Con frecuencia se consideran normales, como en el caso de un circuito de iluminación. Sin embargo, pueden tener como resultado averías con un coste elevado en otras partes de un sistema eléctrico, como en un motor eléctrico que ha perdido una fase o en cualquier circuito con una sobrecarga de tensión.

Aunque las cámaras termográficas se utilizan ampliamente en aplicaciones eléctricas, es muy frecuente que se utilicen inadecuadamente y de manera poco efectiva. Hay posibles problemas que se pueden pasar por alto o que, cuando se localizan, no son comprendidos correctamente por el técnico. Existen muchos factores, a parte de la misma gravedad del problema, que pueden influir en la temperatura de superficie observada a través de un sistema de termografía. Además, no siempre se comprende bien la relación calor-avería, especialmente a lo largo del tiempo.

Es bien sabido que la temperatura de una conexión eléctrica varía conforme cambia la carga. Se puede predecir la producción de calor en una conexión con alta resistencia (I^2R), pero predecir la temperatura que puede alcanzar es mucho más difícil. Debido a esto, algunas normas recomiendan que las inspecciones se realicen con un mínimo del 40% de la carga o con la carga máxima normal siempre que sea posible. Se debe tener especial cuidado con las irregularidades encontradas en equipos ligeramente cargados en donde sea probable que la carga vaya aumentando con el uso.

Cuando los cuadros no se puedan abrir fácilmente y los componentes que estén calentándose no se puedan ver directamente,

como en el caso del cableado aéreo encerrado, el gradiente térmico entre el problema y la superficie visualizada será normalmente muy grande. El *gradiente térmico* es la diferencia entre la temperatura real del foco de un problema y la temperatura que se detecta o mide en la superficie visualizada de la cámara termográfica. Una firma térmica superficial de tan solo $2,8^{\circ}\text{C}$ en un cableado aéreo encerrado puede estar indicando una avería interna. Los dispositivos en aceite, por ejemplo, los transformadores en aceite, presentan gradientes térmicos parecidos o incluso mayores.



Para reducir la aparición de reflejos no deseados en la pantalla, hay visores extraíbles que se pueden utilizar con las cámaras termográficas.

Se debe tener cuidado en las inspecciones al aire libre cuando la velocidad del viento sea de más de 8 km/h. Por ejemplo, los puntos calientes del equipo deberían compararse con cómo aparecerían si no hubiera viento. Puede haber irregularidades que se enfríen por debajo del umbral de detección hasta que haga menos viento. Se puede encontrar este mismo tipo de influencia dentro de una instalación en donde se hayan dejado abiertos los cuadros durante un tiempo antes de realizar la inspección. Un procedimiento de inspección adecuado requiere que la inspección se lleve a cabo con la mayor rapidez y seguridad posibles después de abrir un cuadro.

La visualización de una imagen en pantalla estando al aire libre también suele presentar dificultades. Las condiciones lumínicas pueden producir reflejos no deseados, reduciendo la capacidad de ver con claridad los detalles y matices capturados. Las inspecciones de equipos al aire libre no se tienen que realizar necesariamente por la noche aunque los días claros y soleados puedan resultar en imágenes confusas por el calentamiento solar. Esto es especialmente cierto en el caso de componentes de color oscuro como los aislantes cerámicos de las líneas de alta tensión.

La obtención de datos térmicos fiables sobre un sistema eléctrico no siempre es tan simple como parece. Incluso teniendo buenos datos térmicos, muchos los usan incorrectamente cuando establecen las prioridades sobre la gravedad de los resultados de las comprobaciones. Por ejemplo, con frecuencia la temperatura no es un indicador fiable de la gravedad de un problema ya que existen muchos factores que pueden tener un efecto sobre la temperatura. Este hecho no evita que haya muchos que piensen erróneamente que cuando más caliente esté un componente con problemas, más grave será el problema en comparación con otros componentes más fríos.

De la misma manera, también se da la falsa creencia de que no existe un problema con un componente o con una pieza de un equipo que no está particularmente caliente. Se debe tener especial cuidado al tomar e interpretar los datos térmicos para obtener el máximo provecho de la tecnología termográfica.

En vez de establecer las prioridades en función de la temperatura únicamente, un enfoque mucho más práctico es tener en cuenta cómo interactúan todos los parámetros y cómo afectan al componente problemático. Esto se puede hacer simplemente con instrumentos de medida o de manera más formal mediante el análisis causa-origen usando herramientas de análisis de ingeniería. Son muchas las ventajas de llevar a cabo inspecciones eléctricas de la manera adecuada y las empresas que logran esto con éxito

son capaces de eliminar prácticamente el tiempo de inactividad no programado provocado por las averías eléctricas.

APLICACIONES MECÁNICAS Y ELECTROMECAÑICAS

Las inspecciones mecánicas y electromecánicas cubren un amplio abanico de equipos. Ha quedado demostrado el valor que tiene la termografía en la inspección de equipos como motores, engranajes y colectores de vapor. La mayoría de estas aplicaciones son cualitativas. La imagen térmica actual se compara normalmente con la realizada previamente. Se registran entonces las diferencias provocadas por un cambio en el estado del equipo. El técnico debe tener un conocimiento sólido de la transferencia de calor para poder entender cómo funciona y se avería un equipo.

Los motores se inspeccionan térmicamente porque son muy susceptibles de tener averías relacionadas con el calor. Por ejemplo, la mala alineación o el desequilibrio del motor normalmente tienen como resultado un sobrecalentamiento. Aunque resulta útil mirar la temperatura de superficie de la carcasa del motor, los cambios en las temperaturas internas del motor no son siempre evidentes de forma inmediata. Puede resultar útil tomar imágenes térmicas del motor a lo largo del tiempo o en comparación con motores parecidos en funcionamiento. Por ejemplo, esto puede ayudar a revelar el agarrotamiento de un motor debido al polvo o que esté funcionando con una única fase y sobrecalentándose.

También se puede utilizar en las inspecciones la firma térmica de los rodamientos de un motor. Por ejemplo, si los rodamientos del motor están mucho más calientes que el motor, esto será una indicación de que puede haber un problema que debería investigarse con mayor profundidad. De igual modo, los acoplamientos del motor y los cojinetes de los ejes deberían presentar firmas

térmicas muy cercanas a la temperatura ambiente del aire cuando funcionan con normalidad. Consulte la figura 6-3. También resultará útil utilizar otro tipo de comprobaciones, como análisis de la vibración o de los circuitos del motor, junto con la termografía.

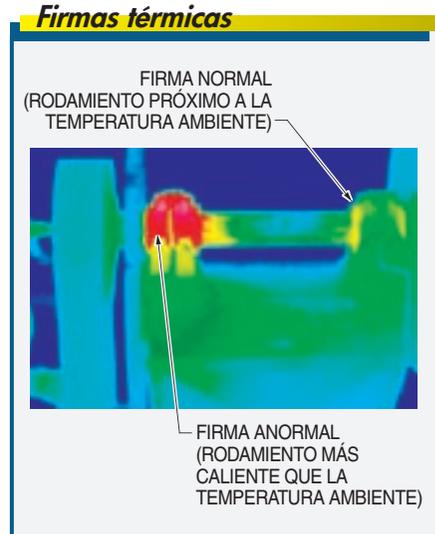


Figura 6-3. Los acoplamientos del motor y los cojinetes de los ejes deberían presentar firmas térmicas muy cercanas a la temperatura ambiente del aire cuando funcionan con normalidad.

La termografía ha resultado especialmente útil en la inspección de engranajes a baja velocidad, como las cintas transportadoras, donde otros métodos de inspección no han resultado tan útiles o fiables. También se pueden inspeccionar con cámaras termográficas otros tipos de equipos más complejos como turbinas, cajas de cambios o intercambiadores de calor. Sin embargo, suelen requerir una inversión más importante para crear un conjunto de datos de comprobación iniciales que puedan rentabilizarse con los resultados de inspecciones posteriores.

APLICACIONES EN PROCESOS

Las inspecciones térmicas se suele utilizar para controlar equipos capaces de soportar altas temperaturas, es decir, equipos refractarios. Por ejemplo, los técnicos de mantenimiento pueden utilizar los datos térmicos para validar el estado del aislamiento o para calcular las temperaturas superficiales que podrían causar la avería.

Una *inspección inicial* es una inspección que pretende establecer un punto de referencia del equipo cuando funciona en condiciones normales y sin problemas. Una *inspección de tendencia* es una inspección realizada después de la inspección inicial para obtener imágenes y poder comparar. El control de las variaciones en función del tiempo ofrece información de diagnóstico y predictiva. Esto permite que el técnico pueda comparar cualquier diferencia o similitud que puedan ser indicativas del rendimiento del equipo.

Se deben realizar primero las inspecciones iniciales, seguidas por las inspecciones de tendencia secuenciadas en el tiempo. Estas inspecciones deben programarse con una frecuencia determinada en función de las consecuencias de las averías y del estado del equipo. El control de las posibles variaciones aumenta considerablemente la capacidad de llevar a cabo un mantenimiento activo y la reducción del tiempo de inactividad no programado así como de costosas averías.

Se pueden inspeccionar todos los tipos de aislamiento mirando las variaciones en la firma térmica superficial. Entre estos tipos de aislamiento se incluyen los utilizados en líneas de vapor, líneas de producto y sistemas de tuberías, y en el seguimiento del calor en líneas de transformación (tanto de vapor como eléctricas). Desafortunadamente, muchos tipos de sistemas de aislamiento vienen cubiertos con metal chapado sin pintar que puede empobrecer considerablemente los resultados obtenidos a través de la termografía. Las firmas térmicas no

son tan obvias en metales chapados sin pintar debido a su baja emisividad y alta reflectancia.

Una de las aplicaciones más comunes en termografía es la localización o confirmación de los niveles de sólidos, líquidos o gases en recipientes como depósitos o silos. **Consulte la figura 6-4.** Aunque la mayoría de los recipientes tienen indicadores del nivel del material que contienen, con frecuencia los datos no son exactos porque los indicadores no funcionan correctamente y otras veces, los datos son correctos pero necesitan confirmarse de forma independiente.

CONSEJO TÉCNICO

Los colectores de vapor y la mayoría de las válvulas mostrarán diferencias de temperatura entre los dispositivos cuando funcionen correctamente. Por supuesto, existen varios tipos de colectores de vapor y de válvulas y cada una puede tener firmas térmicas con ligeras diferencias. Por consiguiente, es importante estudiarlas detenidamente durante un periodo de tiempo y entender bien cómo funcionan normalmente.

La velocidad con la que estos materiales cambian de temperatura durante un ciclo de flujo de calor inestable viene determinada por el modo en el que se produce la transferencia de calor y por las distintas capacidades térmicas de los sólidos, líquidos y gases del depósito. Los gases son los que cambian con mayor velocidad. Por ejemplo, el sol puede provocar en cuestión de minutos un cambio térmico detectable en la parte rellena con gas de un depósito de grandes dimensiones que esté situado al aire libre. Los materiales sólidos, líquidos y flotantes cambian todos a distintas velocidades cuando se exponen a un ciclo de temperatura. Incluso un depósito interior puede sufrir fluctuaciones térmicas que revelen distintos niveles.

Niveles de líquido en depósitos



Figura 6-4. Una de las aplicaciones más comunes en termografía es la localización o confirmación de niveles de material en recipientes como depósitos o silos.

Con frecuencia, un técnico experimentado puede encontrar varios niveles en un depósito sin aislamiento. Cuando hay material aislante, la obtención de firmas térmicas puede llevar más tiempo o es posible que haya que mejorar de algún modo la firma. Se puede mejorar la observación de los niveles de material en un recipiente con técnicas activas y sencillas, como la aplicación de calor o la inducción de frío por evaporación. Por ejemplo, sencillamente se puede rociar con agua el depósito y esperar unos pocos minutos para que cambie la temperatura de la superficie exterior, esto suele ser suficiente para revelar varios niveles. Se puede pintar una línea vertical o colocar una cinta donde los niveles se pueden leer con más facilidad para modificar la baja emisividad del chapado metálico brillante del aislamiento.

DIAGNÓSTICO DE EDIFICIOS

La termografía se ha utilizado desde hace mucho tiempo en varias aplicaciones relacionadas con el diagnóstico de edificios residenciales y comerciales. Entre las aplicaciones de diagnóstico para edificios encontramos las inspecciones de humedades en tejados, inspecciones del aislamiento de edificios para encontrar fugas de energía y de aire así como la detección de humedades. Al igual que con otras aplicaciones termográficas, se hace necesario el conocimiento de la teoría sobre la transferencia de calor y de cómo están contruidos los edificios para obtener buenos resultados. Las inspecciones de edificios comerciales pueden ser más complicadas que las de edificios residenciales.

Inspecciones de humedades en tejados

Debido a una serie de razones relacionadas con el diseño, la instalación y el mantenimiento, la mayoría de los tejados con poca inclinación presentan problemas importantes al año o a los dos años de su instalación. Un *tejado con poca inclinación* es un tejado comercial plano con una ligera pendiente para el drenaje del agua de lluvia. Está compuesto de una cubierta estructural sobre la que se ha colocado algún tipo de aislamiento rígido o membrana impermeable.

Aunque el daño causado por una fuga real podría ser significativo, el daño no apreciable causado a largo plazo por la humedad acumulada suele resultar mucho más caro. Una vez que penetra en el tejado, la humedad se acumula y provoca la degradación y degeneración prematura del tejado. Mediante la localización y sustitución del aislamiento húmedo, se elimina la humedad subsuperficial y se amplía considerablemente la vida del tejado por encima de la media prevista.

La inspección de las machas de humedad en un tejado con una cámara termográfica es una inspección no destructiva. **Consulte la figura 6-5.** El material aislante húmedo tiene una capacidad térmica superior que el material aislante seco. Por ejemplo, después de un día templado y soleado y durante una tarde clara y sin viento, el tejado se puede enfriar rápidamente. El rápido enfriamiento del tejado hace que el aislante húmedo esté más caliente que el aislante seco.

Una vez que se han visto estos patrones, se pueden inspeccionar grandes superficies del tejado con bastante rapidez, apreciando cualquier patrón que indique un aislamiento húmedo. Si fuera necesario, se podría confirmar la presencia real de humedad en la mancha de humedad con métodos de inspección más tradicionales, aunque estos métodos suelen ser lentos y destructivos. La “ventana de inspección” puede permanecer abierta hasta bien entrada la noche si las condiciones son buenas.

La firma térmica exacta que puede observarse con una cámara termográfica y lo que se puede visualizar depende de las condiciones y tipo de aislamiento del tejado. Los aislamientos absorbentes que se suelen utilizar en los tejados con poca inclinación, como la fibra de vidrio, la fibra de madera y la perlita expandida, producen firmas térmicas claras. Los aislamientos de placas de espuma no absorbentes, que son los que normalmente se utilizan en tejados de una sola capa, son más difíciles de inspeccionar. Esto se debe a que se absorbe poca agua. Muchos tejados de capa única también presentan una pesada capa de piedra que produce una firma térmica de poco valor.

Además, hay otros muchos aspectos además de la humedad de la subsuperficie que tienen un efecto sobre las firmas térmicas. Se debe secar la superficie del tejado o la evaporación reducirá el calentamiento solar. Un cielo cubierto de nubes a la tarde puede reducir el enfriamiento mientras que un exceso de viento puede eliminar todas las firmas térmicas.

La construcción del tejado y las condiciones físicas también pueden determinar las firmas térmicas. Por ejemplo, un parapeto orientado al Oeste puede irradiar el calor al tejado hasta bien entrada la noche. La grava extra para tejados permanecerá más caliente y las partes del tejado que se hayan reparado aparecerán de forma distinta. La comprensión de los resultados de los distintos factores que influyen sobre las firmas térmicas es vital para el éxito de la inspección.

Idealmente, los tejados deben inspeccionarse poco después de su instalación para establecer la firma térmica inicial. Se puede justificar otra inspección después de cualquier incidente que pueda causar posibles daños como una tormenta fuerte de granizo, un tornado o un huracán. Cuando no se puede evitar la presencia de goteras, una rápida inspección de seguimiento por infrarrojos puede ayudar a determinar su ubicación exacta y proporcionar una indicación de la extensión del daño en el aislamiento.

Inspecciones de humedades en tejados

TÉCNICO HACIENDO MARCAS DE PINTURA EN EL TEJADO

TERMÓGRAFO CON CÁMARA TERMOGRÁFICA



LOS PATRONES DETECTADOS CON UNA CÁMARA TERMOGRÁFICA SE PUEDEN UTILIZAR PARA DETERMINAR LA PRESENCIA DE HUMEDAD

Figura 6-5. Las inspecciones de humedades en tejados no son destructivas y se pueden realizar fácilmente con una cámara termográfica.

Se debe poner mucho cuidado para llevar a cabo la inspección del tejado sin riesgo alguno. Nunca se debería trabajar solo en un tejado. Los termógrafos están especialmente expuestos al peligro porque el brillo de la pantalla evita que sus ojos puedan ajustarse a los bajos niveles de luz presentes en la mayoría de los tejados. Se trata de un estado conocido como ceguera nocturna. Es esencial que se realice una inspección visual preliminar del tejado a la luz de día para localizar posibles peligros así como para tomar nota del estado del tejado.

Inspecciones de aislamientos de edificios

La termografía es una tecnología ideal para determinar la presencia y el rendimiento del aislamiento. Está siendo ampliamente utilizada por auditores de eficiencia energética, contratistas y peritos. El aislamiento se utiliza en un edificio principalmente para controlar la transferencia de calor, ya se trate de pérdidas o entrada de calor. Cuando no existe aislamiento, está dañado o no tiene el rendimiento esperado, se produce un aumento del uso de energía y del coste de la

climatización a la vez que se suelen ver reducidos los niveles de confort en el edificio.

Aunque la reducción del consumo excesivo de energía es importante, una inspección térmica bien planificada también puede aumentar el confort de los ocupantes y conducir a un menor uso de energía. Con frecuencia también se pueden localizar otros problemas a través de las inspecciones térmicas: fugas de agua o condensaciones de humedad, acumulación de hielo en el tejado o congelación de las tuberías. La termografía también se puede utilizar para comprobar la circulación de aire en espacios climatizados y para verificar la colocación del aislamiento acústico.

Cuando existe una diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de un edificio de al menos 10°C, normalmente es posible detectar los problemas debidos al aislamiento. Por ejemplo, durante la época de utilización de la calefacción, la firma térmica por falta de aislamiento se mostrará como áreas más frías en el interior y más calientes en el exterior. En la época de utilización de aire acondicionado, la firma térmica será la contraria. Es útil conocer el tipo de aislamiento colocado ya que cada uno puede tener una firma térmica única y constante en el tiempo.

La mayoría de las inspecciones térmicas exigen trabajar tanto desde el interior como desde el exterior del edificio. Sin embargo, la presencia de viento o el sol directo pueden hacer que el trabajo en el exterior sea difícil o imposible. Estas condiciones también se pueden apreciar desde el interior, aunque normalmente de manera confusa ya que se trata de aspectos que afectan indirectamente. Las inspecciones que se hagan durante la época de utilización de aire acondicionado pueden quedar limitadas al interior o a por las tardes si se realizan en el exterior. Con las condiciones óptimas y utilizando adecuadamente una cámara termográfica, un termógrafo experimentado y con formación puede localizar fácilmente tanto la falta de aislamiento como un estado deficiente del mismo, así como la determinación de la propia estructura del edificio.

Detección de filtraciones de aire

El exceso de filtraciones de aire hacia fuera y hacia dentro de los edificios representa casi la mitad del coste en calefacción, ventilación y aire acondicionado. Las filtraciones de aire se suelen producir por las diferencias de presión encontradas a lo largo de un edificio. Las diferencias de presión pueden ser resultado del viento pero también están causadas por las fuerzas convectivas inherentes a cualquier edificio y por los desequilibrios de presión asociados con cualquier sistema de climatización.



La termografía se puede utilizar para comprobar si hay pérdidas de calor en un edificio en zonas como ventanas, aleros o paredes con aislamiento deficiente.

Las diferencias de presión impulsan el aire hacia las fisuras presentes en un edificio. Las penetraciones al cerramiento térmico, como las realizadas para el cableado o las tuberías, son con frecuencia pequeñas y no tan evidentes. Un *cerramiento térmico* es el límite del espacio que tiene que ser calentado, ventilado o enfriado dentro de un edificio.

Generalmente, solo se necesita una pequeña diferencia de temperatura de 3°C entre el interior y el exterior de un edificio para detectar una filtración de aire. No se puede ver el aire en sí mismo pero normalmente su patrón de

temperatura sobre las superficies del edificio tiene una firma térmica “tenue” característica. Consulte la figura 6-6. Durante la época de uso de la calefacción, las firmas térmicas suelen mostrarse como vetas frías a lo largo de las superficies interiores del edificio o como “floraciones” calientes desde el exterior por donde se escapa el calor. El movimiento de aire también puede verse claramente dentro de los huecos del edificio, incluso en las paredes interiores y en las paredes exteriores aisladas.

Patrones de temperatura de la superficie del edificio

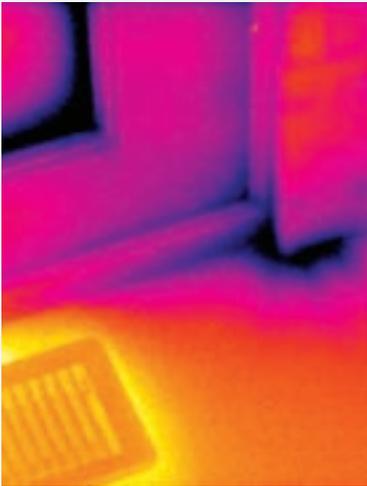


Figura 6-6. Los patrones de temperatura relacionados con las fugas de aire suelen tener una firma térmica “tenue”.

Induciendo artificialmente una diferencia de temperatura en el edificio, se pueden aumentar, dirigir y cuantificar los patrones de las fugas de aire. Esto se puede conseguir mediante un sistema de climatización o un ventilador de puerta.

Detección de humedad

Es frecuente que la humedad entre en los edificios causando la degradación de los materiales del edificio. El punto de penetración normal es una junta estructural o una fisura, como un sello o un cubrejuntas defectuoso. La humedad también puede deberse a la condensación. La condensación suele producirse por las fugas de aire húmedo y caliente del edificio a espacios del edificio más fríos. Otros focos de humedad pueden deberse a inundaciones, aguas subterráneas y fugas en las tuberías o en sistemas de riego.

En todos estos ejemplos, la firma térmica de la humedad presente suele ser clara y evidente, especialmente si se dan las condiciones adecuadas para que se produzca evaporación en la mancha de humedad. En este caso, dicha superficie se mostrará fría. Sin embargo, los materiales de construcción húmedos también son más conductivos y, durante una transición térmica, tienen una capacidad térmica mayor en comparación con los que están secos. En esta situación, las firmas térmicas no son siempre claras ni evidentes. Se debería verificar con detenimiento que las condiciones existentes van a permitir la visualización de la humedad si la hubiera. Por ejemplo, se recomienda hacer comprobaciones complementarias con un medidor de humedad para confirmar lo que aparece en la imagen térmica cuando se detecta una zona sospechosa.

Inspecciones de edificios comerciales

Mientras que la inspección de los edificios residenciales es bastante sencilla, la de los grandes edificios comerciales suele ser más complicada. Sin embargo, la rentabilidad obtenida a partir de la comprensión del funcionamiento de los grandes edificios suele ser significativa y normalmente puede justificar una inspección y análisis profundos. Es esencial que se entiendan los datos de construcción del edificio y que el técnico pueda disponer de estos para poder entender las

complejas interacciones entre las distintas partes del edificio.

Las fugas de aire, la penetración de agua y la condensación son los problemas más comunes encontrados en los edificios comerciales. Una cámara termográfica es una herramienta potente para la resolución de los muchos problemas que se presentan en una estructura de grandes dimensiones. Siempre que sea posible, los edificios grandes deberían inspeccionarse durante la obra conforme cada planta va cerrándose, aislándose y realizándose los acabados más relevantes. Esto permite que se puedan identificar problemas de diseño o construcción antes de acabar y ocupar todo el edificio.



METODOLOGÍAS DE INSPECCIÓN

Los termógrafos utilizan principalmente tres métodos para realizar inspecciones con cámaras termográficas. Estos métodos son el método comparativo, el inicial y el de tendencia. El método elegido depende del tipo de equipo que se inspeccione y del tipo de datos que se necesiten. Se pueden obtener buenos resultados con los tres métodos, siempre que se utilicen para la aplicación adecuada.

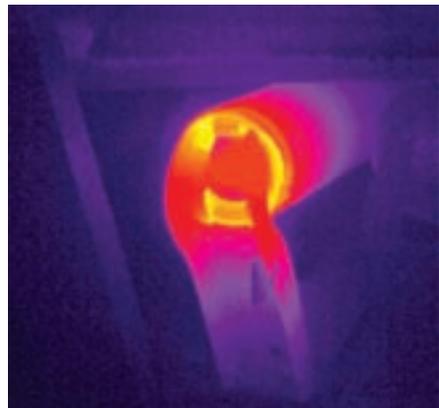
TERMOGRAFÍA COMPARATIVA

Los termógrafos han desarrollado una serie de métodos para aumentar el uso de la tecnología. El método básico que se utiliza en muchas aplicaciones térmicas se conoce como termografía comparativa. La *termografía comparativa* es un proceso utilizado por los termógrafos para comparar componentes similares en condiciones similares para evaluar el estado del equipo que se está inspeccionando.

Cuando la termografía comparativa se utiliza de forma apropiada y correcta, las diferencias entre los equipos evaluados suelen ser indicadoras de su estado. La termografía cuantitativa, a diferencia de la cualitativa, necesita una mayor comprensión de las variables y de las limitaciones que afectan a las medidas radiométricas. La *termografía cuantitativa* es la termografía que incluye temperaturas radiométricas. La *termografía cualitativa* es la termografía que no incluye temperaturas radiométricas.

Es vital establecer el margen de error aceptable antes de empezar una inspección y trabajar con cuidado para no salirse de esos límites. Es esencial una formación básica y de carácter práctico en transferencia de calor y pericia en el uso de cámaras termográficas para comprender la termografía cuantitativa. Gran

parte de la termografía se basa en el trabajo comparativo. Mediante la comparación del objeto de interés con otros similares, suele ser fácil detectar un problema. La formación y la experiencia son fundamentales para el proceso, puesto que puede haber muchas otras variables que deben tenerse en cuenta.



Generalmente, la termografía cualitativa no incluye temperaturas radiométricas. Compara y contrasta las firmas térmicas de componentes similares.

Para que la termografía comparativa sea efectiva, el termógrafo debe eliminar todas las variables excepto una. Con demasiada frecuencia, este simple requisito, aunque esencial, no se logra debido a las complejas circunstancias de la inspección o por los malos hábitos del termógrafo. Como resultado, se pueden obtener datos no concluyentes o engañosos. Se debe ser muy cuidadoso a la hora de entender las influencias manifestadas en las firmas térmicas observadas.

Por ejemplo, la imagen térmica de un interruptor automático trifásico puede mostrar que una de las fases está más caliente que las otras. **Consulte la figura 7-1.** Si la carga entre las tres fases está equilibrada, el calentamiento desigual puede estar asociado a una conexión con una resistencia alta. Sin embargo, si se toma una lectura de la carga con un multímetro digital y este indica 0/70/30 A, por poner un ejemplo, lo más probable es que este patrón esté asociado a un desequilibrio entre las fases.

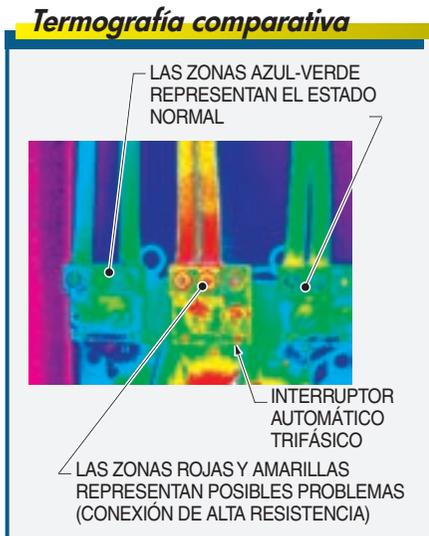


Figura 7-1. La termografía comparativa se puede utilizar con un interruptor automático trifásico y mostrar que una de las fases está más caliente en relación a las demás.

La cámara termográfica por sí misma no puede “interpretar” una imagen. Gracias a una combinación de habilidad, experiencia y constancia por parte del termógrafo en el uso del sistema, con frecuencia unido al uso de otros datos, se puede lograr una correcta interpretación de la imagen. Por supuesto, el mal diagnóstico de una excepción puede resultar en el daño o la pérdida de un equipo de alto valor.

Cuando se hace uso de la termografía comparativa, es útil tener todo el conocimiento posible sobre el objeto que se está observando. Este conocimiento incluye la construcción, funcionamiento básico, mecanismo de fallos conocido, dirección del flujo de calor y el historial de funcionamiento del objeto. Como con frecuencia no se tiene acceso inmediato a este conocimiento, el termógrafo debe ser capaz de hacer preguntas sencillas y claras al propietario del equipo o al técnico de mantenimiento.

Incluso más importante que hacer preguntas, es escuchar atentamente las respuestas. Muchos termógrafos fallan en una de estas tareas o en ambas, repercutiendo en su trabajo. La capacidad de comunicación en un termógrafo es tan importante como su capacidad técnica, sobre todo cuando se trabaja con un equipo o material con el que no se está familiarizado.

TERMOGRAFÍA INICIAL

Una inspección inicial pretende establecer un punto de referencia del equipo cuando funciona en condiciones normales y sin problemas. Es muy importante determinar el estado del equipo normal o deseado y utilizarlo cómo firma térmica inicial con la que comparar imágenes posteriores. Con frecuencia, la firma térmica inicial es uniforme o está relacionada de alguna manera a la estructura inherente del cuerpo que se está observando. Por ejemplo, después de montar un motor y ponerlo en funcionamiento normal, es probable que cualquier diferencia en la firma térmica se puede ver en las imágenes térmicas posteriores. **Consulte la figura 7-2.**

TENDENCIA TÉRMICA

Hay otro método de inspección térmica que se conoce como tendencia térmica. La *tendencia térmica* es un proceso utilizado por el termógrafo

Termografía inicial

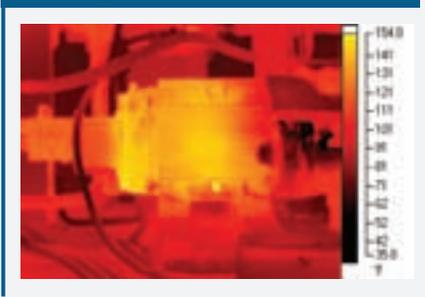


Figura 7-2. Aparecerán muchas diferencias en la firma térmica del motor en inspecciones térmicas posteriores.

para comparar la distribución de la temperatura en el mismo componente en función del tiempo. La tendencia térmica se utiliza sobre todo en la inspección de equipos mecánicos en los que las firmas térmicas habituales pueden resultar complejas. También es útil cuando las firmas térmicas con las que se detectan las averías se suelen desarrollar con lentitud. Por ejemplo, se puede utilizar la tendencia térmica cuando se controla el rendimiento de un aislamiento refractario (a alta temperatura) en un vagón de tren especial a lo largo del tiempo para establecer el horario óptimo para las paradas de mantenimiento. **Consulte la figura 7-3.**

Es importante que el termógrafo entienda todas las variables presentes en un equipo bajo inspección. Los termógrafos deben entender

los principios operativos de distintos sistemas y desarrollar sus conocimientos en relación a la resolución de problemas. Si se recogen los datos con esmero y se entienden los cambios, estos métodos pueden revelar una tendencia precisa y útil del funcionamiento. Sin embargo, es importante recordar que la tendencia únicamente implica, más que predice, el futuro.

Tendencia térmica

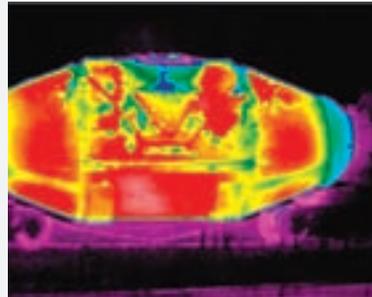
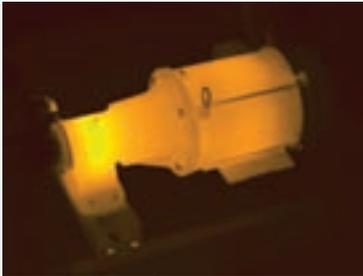


Figura 7-3. La tendencia térmica se utiliza para la inspección de equipos a alta temperatura en los que las firmas térmicas habituales, como este vagón torpedero (re lleno de metal fundido), pueden ser complejas e indicar únicamente el fallo del aislamiento con el paso del tiempo.

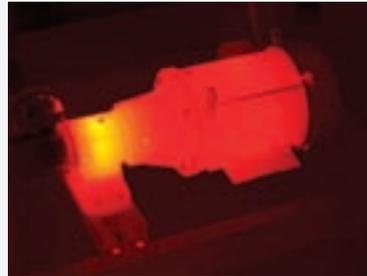
Paletas

Paletas

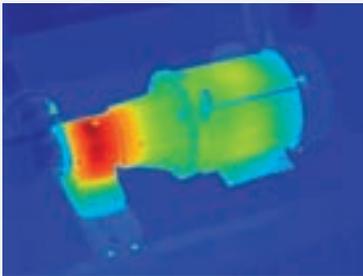
Una *paleta* es un esquema de color utilizado para mostrar las variaciones y los patrones térmicos en una imagen térmica. Tanto a la hora de inspeccionar como de analizar, el objetivo es seleccionar la paleta que mejor identifica y comunica el problema. Idealmente, se debería utilizar una cámara termográfica que permita que el usuario seleccione o cambie la paleta deseada tanto en la cámara como en el software. Por ejemplo, en ciertas aplicaciones se visualizará y analizará mejor mediante el uso de una paleta monocromática como una escala de grises o ámbar. En otras situaciones será más fácil el análisis y la explicación con una paleta de color como hierro (Ironbow), azul-rojo o una de alto contraste. Mediante una amplia selección de paletas de color se puede ofrecer mayor flexibilidad al termógrafo durante la inspección térmica, análisis y generación de informes.



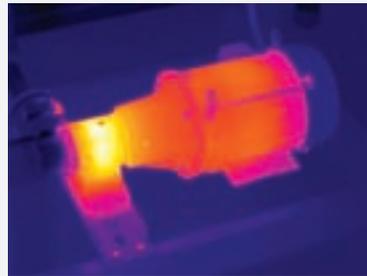
ÁMBAR



METAL CALIENTE



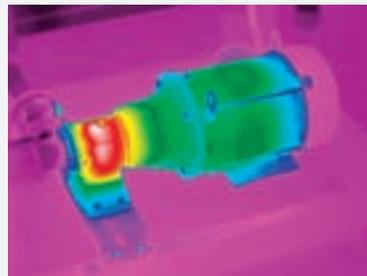
AZUL-ROJO



IRONBOW



ESCALA DE GRISES



ALTO CONTRASTE



ANÁLISIS, GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Además de ser capaz de manejar y utilizar una cámara termográfica correctamente, el trabajo de un termógrafo consiste en analizar, generar informes y documentar los resultados del equipo inspeccionado. Existen herramientas especiales de análisis para realizar apropiadamente estas tareas.

ANÁLISIS DE LA INSPECCIÓN

La termografía depende fuertemente de la capacidad del termógrafo para realizar la inspección correctamente, entender las limitaciones del trabajo, registrar todos los datos relevantes e interpretar apropiadamente los resultados. Las variables con las que puede encontrarse un termógrafo son múltiples y variopintas. Por ello, los termógrafos deben recibir la formación adecuada y estar cualificados para realizar inspecciones térmicas.

Los termógrafos pueden tener tres niveles de certificación I, II y III, siendo el nivel I el más bajo y el nivel III el más alto. En la implementación de un programa de termografía formal, un termógrafo certificado de nivel I está cualificado para tomar datos pero debe trabajar bajo la supervisión de un termógrafo certificado de nivel II. Los termógrafos de nivel II están cualificados para interpretar datos y escribir informes. Un programa de termografía formal debe tener procedimientos de inspección escritos, que normalmente se basan en normas del sector y que se han desarrollado con la ayuda de un termógrafo certificado de nivel III.

GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Después de evaluar los datos térmicos correctamente, se necesitarán comunicar claramente los resultados mediante un informe

escrito. Parte del proceso de generación de informes puede requerir la educación del cliente sobre las limitaciones inherentes a la termografía y sobre el valor de las inspecciones térmicas. Finalmente, el informe suele tener como resultado la prescripción de acciones para corregir todos los problemas revelados durante la inspección térmica.

Por norma general, el termógrafo también ofrece información adicional sobre la localización del problema, el diagnóstico y ofrece sugerencias sobre acciones correctivas. El termógrafo suministra información clave procedente de la inspección térmica que debe considerarse junto con información procedente de otras inspecciones o comprobaciones, el programa de mantenimiento o reparaciones y el análisis de costes, antes de llegar a una conclusión satisfactoria. Por ello, es tan importante la capacidad de comunicación como la capacidad técnica.

Los informes se pueden presentar en distintos estilos e incluir datos distintos. Sin embargo, un informe debería incluir la siguiente información:

- Nombre del termógrafo
- Marca, modelo y número de serie de la cámara termográfica
- Condiciones ambientales relevantes, como velocidad del viento, dirección del viento, precipitación, humedad y temperatura ambiente del aire

- Condiciones del sistema, como carga y ciclo de trabajo
- Identificación y localización del equipo y componentes inspeccionados o comprobados
- Lista de equipos importantes no inspeccionados o comprobados con explicaciones sobre las razones de la omisión
- Configuración de los parámetros de los instrumentos, como configuración de emisividad o de la temperatura de fondo
- Imágenes térmicas junto con las imágenes visuales correspondientes de todo el equipo y los componentes inspeccionados o comprobados
- Un apartado requiriendo la realización de una imagen por infrarrojos de seguimiento para documentar la reparación del equipo

La documentación también debe presentarse de manera que no recargue el informe sino que sirva de apoyo a la presentación de la información esencial de forma clara y eficiente. En los buenos informes sobre inspecciones térmicas, la información fluye de forma natural y sirve de apoyo a las imágenes térmicas y visuales.

Consulte la figura 8-1.

Puede resultar útil tener acceso a distintas plantillas para informes. Por ejemplo, se puede utilizar una simple plantilla de informe para documentar las reparaciones realizadas con éxito en el equipo que había sido inspeccionado o comprobado térmicamente. Se pueden utilizar plantillas para informes especiales en categorías concretas de la inspección térmica.

Siempre que se genere un informe termográfico, se deberán suministrar copias al personal clave según sea necesario. Las copias se pueden facilitar en papel o en formato electrónico. Los informes electrónicos deberían guardarse y bloquearse (como formato PDF, por ejemplo) antes de ser enviados para evitar la manipulación de la inspección y del análisis de la comprobación.

Se suele poder obtener un valor adicional de las comprobaciones y las inspecciones

térmicas guardando un registro de los problemas individuales de manera específica y haciendo uso de categorías. Por ejemplo, se puede identificar y guardar la información relacionada con los problemas dados por una marca de equipos específica o por un determinado proceso. Esta información se puede recuperar posteriormente e identificar los problemas habidos con ciertos equipos para ayudar a futuros usuarios.

Además de manipular y usar correctamente una cámara termográfica, un buen termógrafo debe ser capaz de analizar y documentar los resultados mediante informes adecuados. Esta capacidad es necesaria para poder desarrollar y mantener una reputación de trabajo de calidad y homogéneo. Los informes ofrecen las mejores recomendaciones posibles tras la inspección.

Generación de informes y documentación térmica



IMAGEN DE LUZ VISIBLE



IMAGEN TÉRMICA

Figura 8-1. Los informes sobre inspecciones termográficas suelen incluir imágenes térmicas con las correspondientes imágenes visuales como referencia.

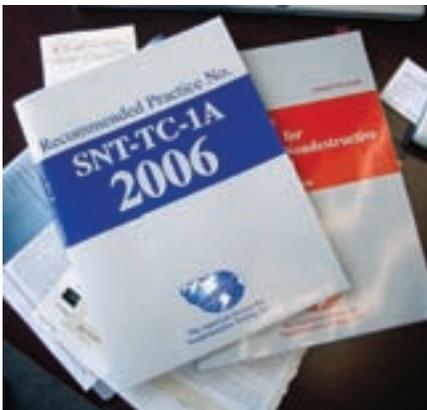


RECURSOS TERMOGRÁFICOS

Se pueden utilizar distintos recursos para obtener información adicional sobre la termografía y las cámaras termográficas como actualizaciones de equipos, problemas de seguridad, cursos de formación, herramientas educativas así como normas y organizaciones profesionales. Estos recursos están disponibles en formato electrónico o impreso.

RECURSOS

Hay una cantidad considerable de información relevante sobre termografía y sobre cámaras termográficas para la mayoría de usuarios potenciales a través de distintos tipos de recursos. En el caso de aplicaciones industriales y comerciales y de diagnóstico de edificios, la tecnología ha existido durante más de 40 años. Sin embargo, muchos profesionales, como técnicos de mantenimiento y electricistas, están empezando ahora a aprender sobre la tecnología y las ventajas de la termografía y las cámaras termográficas.



Entre estos recursos se incluye la documentación de las distintas organizaciones de normalización.

Debido al desarrollo de nueva información, la aplicación de la termografía ha aumentado rápidamente durante los últimos años. Se debe tener en cuenta que hay información sobre termografía, sobre todo la publicada en Internet, que no tiene por qué ser precisa ni objetiva. Se recomienda fuertemente aprender los principios básicos de fuentes como esta publicación y de las fuentes enumeradas más abajo. También se recomienda hacer una lectura crítica para aprender de fuentes para las que no se tengan referencias. Los recursos disponibles incluyen normas, recursos online, libros y materiales impresos así como organizaciones profesionales.

Normas

Una *norma* es una referencia o prácticas aceptadas desarrolladas por profesionales del sector. Las normas ofrecen un conjunto de criterios aceptables sobre los que se puede basar el trabajo. Aunque el cumplimiento de una norma es voluntario, es una buena práctica el cumplir con normas aprobadas y reconocidas. Las normas se crean a partir del trabajo de varios expertos del sector y están a disposición a través de varias organizaciones. **Consulte la figura 9-1.** Puede suponer un recurso valioso para suministrar información específica y detallada sobre varios aspectos de la termografía.

Recursos online

Un *recurso online* es un recurso que está a disposición de los usuarios únicamente a través de una conexión de Internet. Estos recursos ofrecen una variedad de fuentes instructivas para estudiantes, termógrafos y técnicos. Es normal disponer de información complementaria a través de fabricantes de equipos, organizaciones de normalización, materiales educativos y organizaciones profesionales. Por ejemplo, un recurso online puede ser un foro donde representantes de los fabricantes de equipos con experiencia pueden comunicarse con los usuarios del equipo con el objeto de resolver sus problemas u ofrecer recomendaciones sobre el equipo.

Libros y materiales impresos

Los libros y los materiales impresos son fuentes en papel que pueden utilizarse como referencia técnica. Sirven para aumentar el conocimiento de cualquier individuo que utilice la termografía y la tecnología por infrarrojos con el objeto de realizar inspecciones y comprobaciones. Existen varios libros y distintos materiales impresos disponibles.

Organizaciones profesionales

Una *organización profesional* es una organización que ofrece información y formación sobre termografía a través de publicaciones, formación y participación en grupos locales. Se anima a los termógrafos y a los técnicos a unirse y participar en varias organizaciones profesionales. El ser miembro de estas asociaciones ayuda a mantener el conocimiento respecto a las últimas tecnologías, tendencias y cambios del sector.

La participación en una organización profesional ofrece nuevas oportunidades y facilita el seguir aprendiendo sobre procesos termográficos y los equipos y sobre las últimas técnicas de comprobación/inspección.

Organizaciones de normalización	
American Society for Nondestructive Testing (ASNT)	
1711 Arlingate Lane PO Box 28518 Columbus, OH 43228 (EE. UU.) +1 614-274-6003	www.asnt.org
ASTM International (ASTM)	
100 Barr Harbor Drive PO Box C700 West Conshohocken, PA 19428 (EE. UU.) +1 610-832-9598	www.astm.org
Canadian Standards Association (CSA)	
5060 Spectrum Way Suite 100 Mississauga, ON L4W 5N6 (Canadá)	www.csa.ca
Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)	
1828 L Street NW Suite 1202 Washington, DC 20036 (EE. UU.) +1 202-785-0017	www.ieee.org
International Electrotechnical Commission (IEC)	
3, rue de Varembe' PO Box 131 CH-121 Génova 20 (Suiza)	www.iec.ch
International Organization for Standardization (ISO)	
1, ch. de la Voie-Creuse Case postale 56 CH-1211 Génova 20 (Suiza) +41 22 749 01 11	www.iso.org
National Fire Protection Association (NFPA)	
1 Batterymarch Park Quincy, MA 02169 (EE. UU.) +1 617-770-3000	www.nfpa.org

Figura 9-1. Las normas son referencias o prácticas aceptadas desarrolladas por profesionales del sector y se puede disponer de ellas a través de varias organizaciones.



OTRAS TECNOLOGÍAS RELACIONADAS

A parte de la termografía, se utilizan otras tecnologías y métodos de análisis relacionados para la inspección y resolución de problemas en equipos y componentes comerciales e industriales. Entre estos métodos encontramos la inspección visual y auditiva, análisis eléctrico, análisis ultrasónico, análisis de vibraciones, análisis de aceites lubricantes y análisis de partículas de desgaste. Se pueden utilizar individualmente en la resolución de problemas de equipos o después del uso de cámaras termográficas para verificar los resultados de la comprobación obtenidos.

INSPECCIÓN VISUAL Y AUDITIVA

La *inspección visual y auditiva* es el análisis de la aparición de problemas y sonidos en equipos en funcionamiento para determinar los componentes que pudieran necesitar la realización de procedimientos de mantenimiento o trabajos de reparación. Consulte la **figura 10-1**. La inspección visual y auditiva es el procedimiento de mantenimiento predictivo más simple que se puede hacer en una instalación y no necesita ninguna herramienta o equipo. Es el más efectivo cuando el problema potencial es obvio para un técnico de mantenimiento cualificado. Se pueden observar las características especiales del funcionamiento y se puede programar el equipo para el trabajo de mantenimiento necesario.

La inspección visual se puede complementar con procesos como la comprobación con tinte penetrante para localizar fracturas finas y superficiales en el metal. Se limpia totalmente el metal y se rocía con un tinte que se concentra en las fracturas u hoyos pequeños de la superficie del metal. El exceso de tinte se retira para revelar pequeñas grietas u hoyos bajo la superficie.

Inspección visual y auditiva



Figura 10-1. Los técnicos de mantenimiento comprueban de forma rutinaria la apariencia y los sonidos de los equipos en funcionamiento mediante inspecciones visuales y auditivas.

ANÁLISIS ELÉCTRICO

El *análisis eléctrico* es un método de análisis que utiliza equipos de monitorización eléctrica para evaluar la calidad de la energía eléctrica suministrada al equipo y el rendimiento del equipo eléctrico. Consulte la **figura 10-2**. Se puede instalar el equipo de monitorización eléctrico para medir la tensión máxima y mínima, la variación de tensión entre fases, la pérdida de tensión y los niveles de corriente.

También se puede evaluar la calidad de la energía eléctrica suministrada a los equipos electrónicos sensibles.

Análisis eléctrico



Figura 10-2. El análisis eléctrico hace uso de equipos de monitorización eléctricos para evaluar la calidad de la energía eléctrica suministrada al equipo.

Una de las aplicaciones más comunes del análisis eléctrico se utiliza en circuitos y motores eléctricos. El *análisis de los circuitos de motores (MCA)* es un tipo de análisis eléctrico para motores y circuitos que se puede llevar a cabo con carga eléctrica o sin ella. Ambos métodos de comprobación posibilitan la detección temprana de defectos y averías en la distribución eléctrica del motor, los circuitos del motor y el sistema de transmisión del motor.

DETECCIÓN DE ULTRASONIDOS EN AIRE

La detección de ultrasonidos en aire es un método de análisis de equipos que amplifica el sonido de alta frecuencia para identificar posibles problemas en los equipos. Un dispositivo de escucha convierte estos sonidos, que generalmente están fuera del espectro de audición, a señales que pueden ser percibidas por el oído humano. Estas señales pueden indicar, entre otras cosas, el calentamiento anormal de las conexiones eléctricas, fugas en sistemas de aire y de vapor, y rozamiento en rodamientos, así como otros muchos problemas en equipos.

ANÁLISIS DE VIBRACIONES

El *análisis de vibraciones* es el control de las características vibratorias de los componentes individuales con el objeto de determinar el estado del equipo. Por lo general, las piezas desgastadas hacen que el equipo se averíe. También producen mayor vibración y ruido que puede aislarse. El análisis de vibraciones es la forma más común de técnica de control utilizada en equipos giratorios.

ANÁLISIS DE ACEITES LUBRICANTES

El *análisis de aceites lubricantes* es una técnica de mantenimiento predictivo que detecta la presencia de ácido, suciedad, combustible o partículas de desgaste en el aceite lubricante y examina estas sustancias para predecir averías en el equipo. El análisis de aceites lubricantes se lleva a cabo siguiendo una programación establecida. Se toma una muestra de aceite de la máquina para determinar el estado del lubricante y de las piezas móviles. Las muestras se suelen enviar a una empresa especializada en el análisis de aceites lubricantes.

ANÁLISIS DE PARTÍCULAS DE DESGASTE

El *análisis de partículas de desgaste* es el examen de las partículas de desgaste encontradas en el aceite lubricante. Mientras que el análisis de aceites lubricantes se concentra en el estado del aceite lubricante, el análisis de partículas de desgaste pone su atención en el tamaño, frecuencia, forma y composición de las partículas procedentes de las piezas. El estado del equipo se determina mediante el control de las partículas de desgaste. Es normal que se produzca desgaste en las piezas del equipo al estar en contacto continuo entre ellas. Un aumento de la frecuencia y tamaño de las partículas de desgaste en el aceite lubricante indican que hay una pieza desgastada o predicen una futura avería.



ÍNDICE

A

- absorción 23
- aislante 21
- American Society for
Nondestructive Testing (ASNT) 14
- American Society of Testing Materials (ASTM)
International 16
- análisis de aceites lubricantes 66
- análisis de circuitos del motor (MCA) 66
- análisis de inspección 61
- análisis de partículas de desgaste 66
- análisis de vibraciones 66
- análisis eléctrico 65–66, 66
- análisis ultrasónico 66
- aplicaciones de procesos 50–51
- aplicaciones eléctricas de la termografía 45–49
- aplicaciones termográficas
 - aplicaciones eléctricas 45–49
 - aplicaciones electromecánicas 49
 - aplicaciones mecánicas 49
- arcos de tensión 14
- ASNT 14
- ASTM 16

B

- blanco 4, 5

C

- cámara termográfica 2, 3, 6, 17
 - componentes 5–8
 - desarrollo de 2–4
 - funcionamiento 4, 5–7
- cámara termográfica de onda larga 4
- cámara termográfica de onda media 4
- campo de visión (FOV) 26, 27
- campo de visión instantáneo (IFOV) 26–27
- capacidad térmica 20
- Case, Theodore 2
- ceguera nocturna 16
- cerramiento térmico 54
- choque eléctrico por arco de tensión 14
- conducción 20–21
- conductor 20
- controles* 7
- convección 21–22, 22

- cuadros eléctricos 15
- cualificación del termógrafo 13, 13–14

D

- detección de fugas de aire 54–55, 56
- detección de humedad 55
- detector y electrónica de procesamiento 6–7
- diagnóstico de edificios 51
 - detección de fugas de aire 54–55, 56
 - detección de humedad 55
 - inspección de aislamientos 53
 - inspección de edificios comerciales 55
 - inspecciones de humedades en tejados 52–54, 53–56
- dispositivos de almacenamiento de datos 7–8

E

- ecuación de Stefan-Boltzmann 22
- efectos ambientales 28
- emisión 23, 24
- emisividad 25, 26
- energía 19
- energía electromagnética 22
- EPI* 46
- equipo de protección individual (EPI)* 46
- espectro electromagnético* 23
- excepción térmica 45

F

- firma térmica 9, 49
- FOV 26, 27

G

- generación de informes y documentación 61–62, 62
- gradiente térmico 48

H

- Herschel, Sir John 2
- Herschel, Sir William 1–2

I

- IFOV 26
- IFOVm de medida 27, 28
- imagen radiométrica 3

informes de inspección 61–62, 62
 inspección. **See** inspección térmica
 inspección de aislamientos 53
 inspección de edificios comerciales 55
 inspección de motores 49, 50
 inspección de tendencia 50
 inspecciones de humedades en tejados 52–54, 53–56
 inspecciones del aislamiento de edificios 53
 inspecciones electromecánicas 49
 inspecciones mecánicas 49
 inspección inicial 50
 inspección térmica
 aplicaciones de procesos 50–51
 aplicaciones eléctricas 45–49
 aplicaciones electromecánicas 49
 aplicaciones mecánicas 49
 diagnóstico de edificios 51–56
 termografía inicial 58, 59
 inspección visual y auditiva* 65
 International Organization
 for Standardization (ISO) 14
 ISO 14

L

lentes 5, 7
 libros sobre termografía 64

M

matriz de plano focal (FPA) 3–4, 4–5
 MCA 66
 Melloni, Macedonio 2
 micra (μm) 4

N

nivel de líquido 50–51, 52–53
 nivel de material 50–51, 51
 Nobili, Leopoldo 2
 norma 63
 organizaciones 64
 normas 16–17

O

Occupational Safety and Health Administration
 (OSHA) 16
 organización profesional 64
 OSHA 16

P

pantalla 7
 perimetro de protección frente a arcos 14, 15
 persona calificada 15
 píxel 3–4

precisión de la medida de temperaturas 26
 campo de visión instantáneo (IFOV) 26–27
 efectos ambientales 28
 campo de visión (FOV) 26, 27
 primera ley de la termodinámica 19
 procedimientos de inspección 16–17

R

radiación 1, 20, 22–23, 24
 radiación térmica 22–23
 recursos 63–64
 recursos online 64
 recursos termográficos 63–64
 reflexión 24

S

Seebeck, Thomas 2
 segunda ley de la termodinámica 19
 seguridad en el lugar de trabajo 14–16
 seguridad en el trabajo 14–16
 software 8
 software de procesamiento 8
 software de procesamiento de datos 8
 software para creación de informes 8

T

técnico de mantenimiento 65
 tejado con poca inclinación 52
 temperatura 19
 temperatura de superficie 25–26
 tendencia térmica* 59
 termodinámica 19
 termografía
 termografía comparativa 57–58, 58
 termografía cualitativa 57
 termografía cuantitativa 57
 termografía comparativa 57–58, 58
 termografía cualitativa 57
 termografía cuantitativa 57
 termografía inicial 58, 59
 termografía por infrarrojos 1
 termógrafo
 certificación 61
 objetivos de la documentación 61–62
 termograma 4–5
 transferencia de calor 19–20
 transmisión 23, 24

U

ultrasonidos en aire 47

V

ventana transparente al infrarrojo* 47