



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, MATEMÁTICAS E INGENIERÍA.

Propuesta de procedimiento para ensayos de temperatura utilizando termografía infrarroja en la Universidad de Sonora, URS.

TRABAJO ESCRITO

PRESENTAN:

JOAQUIN MANZO OROZCO
EDUARDO URBALEJO VALDEZ

Desarrollado para cumplir como
uno de los requisitos parciales
para obtener el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

DIRECTOR:

M.I. RAFAEL VERDUGO MIRANDA

NAVOJOA, SONORA.

ABRIL DE 2013.

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA
UNIDAD REGIONAL SUR
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

Departamento de Física, Matemáticas e Ingeniería

Navojoa, Sonora a 21 de Marzo de 2013

Ing. Ma. del Rosario Castrejón Lemus
Jefe de Departamento de Física, Matemáticas E Ingeniería
Unidad Regional Sur
PRESENTE:

Por este conducto, hago de su conocimiento que estamos de acuerdo que se realice el examen profesional de los alumnos


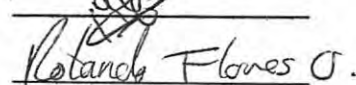
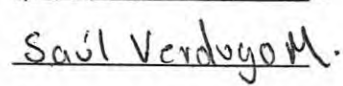
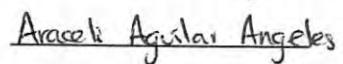
JOAQUIN MANZO OROZCO

EDUARDO URBALEJO VALDEZ

el día Viernes 5 de Abril de 2013 en la Sala BS101 del edificio B a las 10:00 horas.

A T E N T A M E N T E

MIEMBROS DEL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.I. RAFAEL VERDUGO MIRANDA, 30492	
SECRETARIO	M.I. ROLANDO FLORES OCHOA, 30984	
VOCAL	ING. SAUL VERDUGO MIRANDA, 32290	
SUPLENTE	ING. ARACELI AGUILAR ANGELES, 30676	

RESUMEN

El presente trabajo constituye una propuesta para estandarizar la realización de ensayos de temperatura utilizando cámaras termográficas (ensayos termográficos), dicho equipo se encuentra disponible en la Universidad de Sonora, Unidad Regional Sur (UNISON URS) y se puede utilizar en asignaturas del programa de Ingeniería Industrial también se encontró que el equipo puede convertirse en un detonante para la vinculación con la industria local. Concretamente se propone la documentación de las actividades de ensayos termográficos de acuerdo a las recomendaciones de la Norma ISO/IEC 17025 en lo referente a procedimientos de ensayos no normalizados, lo anterior con el propósito de evidenciar la competencia técnica de la UNISON URS en el campo de la termografía infrarroja.

La implementación de la metodología aplicada consistió en la explicitación y documentación del cumplimiento de los 11 incisos demandados en la fracción 5.4 de la Norma ISO/IEC 17025, que corresponde a los requisitos para la validación de procedimientos no normalizados.

Los resultados obtenidos muestran el cumplimiento de los objetivos general y específicos, al lograrse documentar de manera ordenada los conocimientos necesarios para la realización de ensayos termográficos apegados a un método definido. El desarrollo del procedimiento propuesto también revela que es posible documentar competencia técnica oficial en la operación de instrumentos especializados en la UNISON URS, como lo es la cámara termográfica, apuntando que se detectaron ciertas necesidades como la disponibilidad de materiales de referencia como cuerpos negros o equipos complementarios calibrados lo cual tendría que adquirirse si se pretendiera la acreditación del procedimiento ante alguna instancia competente.

AGRACECIMIENTOS

Primeramente se agradece a Dios por permitirme llegar hasta este momento.

A LA UNIVERSIDAD DE SONORA, por la formación académica que me ha brindado en el transcurso de mis estudios.

A mis padres, familia y hermanos por su apoyo y comprensión.

CON ESPECIAL RECONOCIMIENTO A MI DIRECTOR IIS. RAFAEL VERDUGO MIRANDA Y DR. OSCAR GOMEZ ALDAMA; por su tiempo, dedicación y esfuerzo en la dirección de este trabajo y a mi compañero IIS. JOAQUIN MANZO OROZCO.

DEDICATORIA

Uno de los autores Eduardo dedica este trabajo profesional a sus padres: Eduardo Urbalejo Borbón y Francisca Ofelia Valdez Valenzuela, hermanos: Rafael, Adalberto, Joel Arnulfo, María del Carmen y Francisco Javier, a mi esposa Isabel Nolzco Rosas y en especial a mis dos hijos Isabel y Eduardo Urbalejo Nolzco y a todos mis seres queridos familiares y amigos.

CONTENIDO

RESUMEN.....	i
AGRACECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA.....	iii
CONTENIDO	iv
LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivo	2
1.3.1 Objetivos Específicos	3
1.4 Alcances y limitaciones.....	3
2. MARCO TEORICO	5
2.1 Historia y evolución del mantenimiento	5
2.1.1 La evolución del mantenimiento.....	5
2.1.2 Mantenimiento predictivo basado en temperatura	9
2.2 Esquema básico de captación por termografía.....	12
2.3 Historia y evolución de termografía infrarroja.....	13
2.3.1 La primera ley de la termografía infrarroja	14
2.3.2 Análisis térmico y termografía infrarroja	14
2.3.3 Termografía infrarroja	14
2.3.4 La historia del análisis térmico y termografía	15
2.3.5 Introducción a la temperatura	16
2.3.6 Introducción al calor.....	18
2.4 El espectro electromagnético.....	24
2.4.1 Espectro infrarrojo.....	25

2.4.2 Física de la radiación infrarroja	26
2.4.3 Leyes de la radiación infrarroja	27
2.4.4 Fuentes de radiación de energía	Error! Bookmark not defined.
2.5 Operación de la cámara termográfica	31
2.6 Competencia técnica normalizada (ISO/IEC 17025)	33
2.6.1 Norma	33
2.6.2 Principios básicos de la normalización	34
3. METODOLOGÍA	35
3.1 Requerimientos para elaboración de procedimiento no normalizado de ensayo según norma ISO/IEC 17025.	35
IV APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	38
4.1 Identificación apropiada	38
4.2 El alcance del procedimiento	39
4.3 La descripción del tipo de ítem a ensayar o a calibrar	40
4.4 Los parámetros o las magnitudes y los rangos a ser determinados.....	40
4.5 Los aparatos y equipos, incluidos los requisitos técnicos de funcionamiento.....	41
4.6 Los patrones de referencia y los materiales de referencia requeridos.....	43
4.7 Las condiciones ambientales requeridas y cualquier período de estabilización requeridos	43
4.8 La descripción del procedimiento.	44
4.9 Los criterios o requisitos para la aprobación o rechazo	55
4.10 Los datos a ser registrados y el método de análisis y de presentación.....	56
4.11 La incertidumbre o el procedimiento para estimar la incertidumbre.....	56
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
6.1 Conclusiones.....	59
6.2 Recomendaciones.....	60
7. BIBLIOGRAFIA	61
8. ANEXOS.....	62

LISTA DE TABLAS

Número	Descripción de la tabla	Página
2.1	Áreas de aplicación de la termografía	13
2.2	Emisividad de los materiales	30
4.1	Límites máximos de temperatura en componentes eléctricos.	55
4.2	Prioridad en reparación según diferencia de temperaturas entre componentes	56

LISTA DE FIGURAS

Número	Nombre	Página
2.1	Curva de la bañera	8
2.2	Imagen luz visible y termografía	10
2.3	Curvas de Planck	11
2.4	Dos cuerpos en equilibrio termodinámico	20
2.5	Sistema de combustión interna	20
2.6	Transferencia de calor inducción	21
2.7	Epectro electromagnetico	25
2.8	Esquema básico de captación por termografía	31
2.9	Principales controles a operar cámara termográfica	32
2.10	Requisitos a cumplir en la elaboración de procedimientos de ensayos según Norma ISO/IEC 17025	34
4.1	Portada del procedimiento con apego a requisitos de Norma ISO/IEC 17025	39
4.2	Cámara termográfica Fluke Ti10	41
4.3	Etiqueta de calibración de cámara termográfica	42
4.4	Termómetro digital	42
4.5	Plancha de calentamiento	42
4.6	Modelo de los pasos a seguir para realización de ensayos termográficos	45
4.7	Termograma con enfoque deficiente	46
4.8	Termograma bien enfocado	46
4.9	Termo grama con saturación de color (nivel muy arriba).	47
4.10	Termo grama utilizando todos los colores de la paleta (nivel adecuado).	47
4.11	Termograma utilizando un solo color de la paleta de colores (rango muy abierto).	48
4.12	Termograma utilizando el 90% de los colores de la paleta (rango adecuado).	48
4.13	Ejemplo de descarga de termograma a software SmartView.	52
4.14	Edición de termograma en software SmartView.	53
4.15	Asignación de emisividad y temperatura de fondo	53
4.16	Selección de área del objeto de interés en un termograma.	54

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades esenciales de todo centro universitario giran en torno a la docencia, investigación y vinculación. Una de las formas de fortalecer la docencia y de lograr el éxito en la inserción de los egresados al mercado laboral es fortalecer los programas de vinculación con los respectivos sectores de cada perfil. La Universidad de Sonora, Unidad Regional Sur (UNISON URS) oferta la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas, dicho programa contempla en sus ejes de formación profesionalizante y especializante una fuerte carga en la formación práctica del alumnado. En muchos casos la Universidad cuenta con equipos para la realización de prácticas mucho más sofisticados en comparación con los disponibles en la industria. Lo anterior representa una inmejorable oportunidad de vincular las capacidades de los laboratorios de la UNISON URS con el sector industrial local, sin embargo debe considerarse que la industria en general trabaja bajo ciertos estándares, más concretamente recuérdese que la industria que emplea la mayor cantidad de profesionistas es un sector que está en la carrera de certificaciones bajo normas ISO u otras, en ellas se exige la observancia y vigilancia de la calidad de los servicios o productos suministrados por sus proveedores, de manera tal que para lograr que las capacidades de los laboratorios universitarios fortalezcan la vinculación, debe buscarse los mecanismos necesarios para que las prácticas de laboratorio académicas se realicen bajo estándares oficiales.

1.1 Planteamiento del Problema

En el área de metrología en la UNISON URS se han hecho inversiones en la adquisición de diversos equipos sofisticados y en capacitación especializada del personal, sin embargo la aceptación en el sector industrial respecto de dichas capacidades universitarias se ven menguadas por la ausencia de procedimientos normados. En el caso específico de las capacidades del área de termografía

infrarroja se cuenta con cámara marca Fluke modelo Ti10 (calibrada), también se ha invertido en la certificación de personal en el Instituto Mexicano de Mantenimiento Predictivo (IMMP) y actualmente se realizan de manera esporádica ensayos de temperatura sin un sistema o programa de trabajo. En este contexto se plantea la pregunta:

¿Existe en la Universidad de Sonora un mecanismo que sistematice, documente y dé evidencia de la competencia técnica en el área de termografía infrarroja, de forma tal que se cumplan requisitos de normas oficiales?

1.2 Justificación

El desarrollo de un procedimiento para el área de termografía infrarroja bajo la norma ISO/IEC:17025:2006, potencializará las capacidades de vinculación de la UNISON URS con el sector industrial, al estar en posibilidades de ofertar servicios profesionales con competencia oficial para el uso de la técnica TI, técnica que en aun no está en uso en la gran mayoría de la industria local, además dotará a los estudiantes del programa de Ingeniería Industrial y de Sistemas de una mayor ventaja competitiva al capacitarlos en el uso de tecnologías de punta e involucrarlos en el mundo de la normalización de manera totalmente real.

1.3 Objetivo

Establecer los lineamientos que regulen las actividades necesarias para la realización de ensayos de temperatura al utilizar una cámara termográfica, que garanticen la competencia técnica en la Universidad de Sonora URS en Navojoa, Sonora.

1.3.1 Objetivos Específicos

Explicitar las actividades involucradas en la realización de ensayos termográficos como determinar: emisividad y temperatura de fondo para integrarlas al procedimiento para ensayos de temperatura.

Desarrollar procedimiento de las actividades de ensayos termográfico para dar cumplimiento a las demandas de la norma ISO/IEC: 17025 en lo referente a procedimiento no normalizados.

1.4 Alcances y limitaciones

El uso de la tecnología de Termografía Infrarroja ha tenido un crecimiento importante en las últimas dos décadas en aplicaciones industriales, al ser un método de lectura de temperatura rápida y ofrecer además un patrón térmico, las aplicaciones pueden ser muy versátiles. En ese sentido el presente trabajo se enfoca a cubrir las áreas “ensayos de temperatura a tableros y componentes eléctricos”, “ensayos de temperatura en piezas mecánicas en fricción o presión” y “ensayos de temperatura en aislamientos residenciales”. Lo anterior debido al hecho de que las actividades del área de Termografía Infrarroja demandadas a la UNISON URS, provienen por un lado de proyectos de servicio social enfocado a asesorar y corregir anomalías para el ahorro de energía en residencias de comunidades aledañas al municipio de Navojoa y por otro lado de la industria local para el monitoreo de tableros eléctricos y equipos de proceso como: trampas de vapor, motores eléctricos, cuartos fríos entre otros.

Debido a las características de la cámara (rango de temperatura, resolución óptica y software interno) el presente procedimiento contempla ensayos para cuerpos que estén a una temperatura entre los -20°C y los 250°C , debido a la ausencia de zoom

óptico en la cámara Fluke Ti10 con que se cuenta en la UNISON, las inspecciones aéreas o muy lejanas a la cámara (más de 5 metros) quedaran fuera de alcance, a los cuerpos que estén a menos distancia se podrán medir su temperatura de acuerdo al campo de visión instantáneo (IFOV) por sus siglas en ingles.

2. MARCO TEORICO

En este apartado se presentan una serie de conceptos teóricos, sin los cuales sería difícil entender el motivo, desarrollo y aportación de este trabajo. En general se revisan fundamentos de las técnicas y evolución de mantenimiento industrial, leyes básicas de termodinámica, fundamentos generales y particulares de la técnica de Termografía Infrarroja, conceptos sobre normalización en el área de TI, entre otros.

2.1 Historia y evolución del mantenimiento

El área del mantenimiento industrial es de primordial importancia en el ámbito de la ejecución de las operaciones en la industria pues de un buen Mantenimiento depende, no sólo un funcionamiento eficiente de las instalaciones, sino que además, es preciso llevarlo a cabo con rigor para conseguir otros objetivos como son el control del ciclo de vida de las instalaciones sin disparar los presupuestos destinados a mantenerlas.

Las estrategias convencionales de "reparar cuando se produzca la avería" ya no sirven. Fueron válidas en el pasado, pero ahora se es consciente de que esperar a que se produzca la avería para intervenir, es incurrir en unos costos excesivamente elevados (pérdidas de producción, deficiencias en la calidad, etc.) y por ello las empresas industriales se plantearon llevar a cabo procesos de prevención de estas averías mediante un adecuado programa de mantenimiento.

2.1.1 La evolución del mantenimiento

Como todo proceso en evolución, el dominio del mantenimiento ha seguido una serie de etapas cronológicas que se han caracterizado por una metodología específica.

La primera generación

La primera generación cubre el periodo hasta la II Guerra Mundial. En esos días la industria no estaba muy mecanizada, por lo que los periodos de paros no importaban mucho. La maquinaria era muy sencilla y en la mayoría de los casos diseñada para un proceso determinado. Esto hacía que fuera confiable y fácil de reparar. Como resultado no se necesitaban sistemas de mantenimiento complicados, y la necesidad de personal calificado era menor que ahora.

La segunda generación

Durante la segunda guerra mundial las cosas cambiaron drásticamente. Los tiempos de la guerra aumentaron la necesidad de productos de toda clase, mientras que la mano de obra bajó de forma considerable. Esto llevó a la necesidad de un aumento de mecanización. Hacia el año del 1950 se habían construido equipos de todo tipo y cada vez más complejos. Las empresas habían empezado a depender de ellos.

Aumentar esta dependencia, el tiempo improductivo de una máquina se hizo más evidente. Esto llevó a la idea que las fallas se podían y debería prevenir, lo que dio como resultado el nacimiento del concepto del mantenimiento programado en los años 60, basándose primordialmente en la revisión completa del material a intervalos fijos.

El costo del mantenimiento comenzó también a elevarse mucho en relación con los otros costos de funcionamiento. Como resultado comenzaron a implantarse sistemas de control de planeación del mantenimiento, ayudando a poner el mantenimiento bajo control, y se han establecido ahora como parte de la práctica del mismo.

La tercera generación

Desde mediados de los años setenta, el proceso de cambio en las empresas ha tomado incluso velocidades más altas. Los cambios pueden clasificarse así:

Nuevas expectativas

El crecimiento continuo de la mecanización significa que los periodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente. Esto es visto claramente con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en el que los reducidos niveles de inventario en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda la operación, creando grandes demandas en la función del mantenimiento.

Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de maquinaria y la calidad del producto. Simultáneamente, se elevan los estándares de calidad.

El aumento de la mecanización también produce más serias consecuencias de las fallas de una instalación para la seguridad y/o medio ambiente.

Nueva investigación

Mucho más allá de las mejores expectativas, la nueva investigación está cambiando las creencias básicas acerca del mantenimiento. En particular se hace aparente ahora que hay una mejor conexión entre el tiempo que lleva un equipo funcionando y sus posibilidades de falla.

Cambio de paradigmas

En 1978 la aviación comercial en Estados Unidos publicó un estudio de patrones de falla en los componentes de aviones, cambiando todas las costumbres que hasta el momento se tenía sobre el mantenimiento.

La figura 2.1 muestra como el punto de vista acerca de las fallas en un principio era simplemente que cuando los elementos físicos envejecen tienen más posibilidad de fallar, mientras que la generación de conocimiento sobre el desgaste por el uso en los equipos durante la Segunda Generación llevó a la creencia general en la “curva de la bañera”.

Se refleja que en la práctica actual no solo hay ocurrencia de un modelo de falla sino de seis diferentes.

Ahora los equipos en general son más complicados de lo que eran hace algunos años. Esto ha llevado cambio en los modelos de fallas de los equipos, mostrado en la figura 2.1.

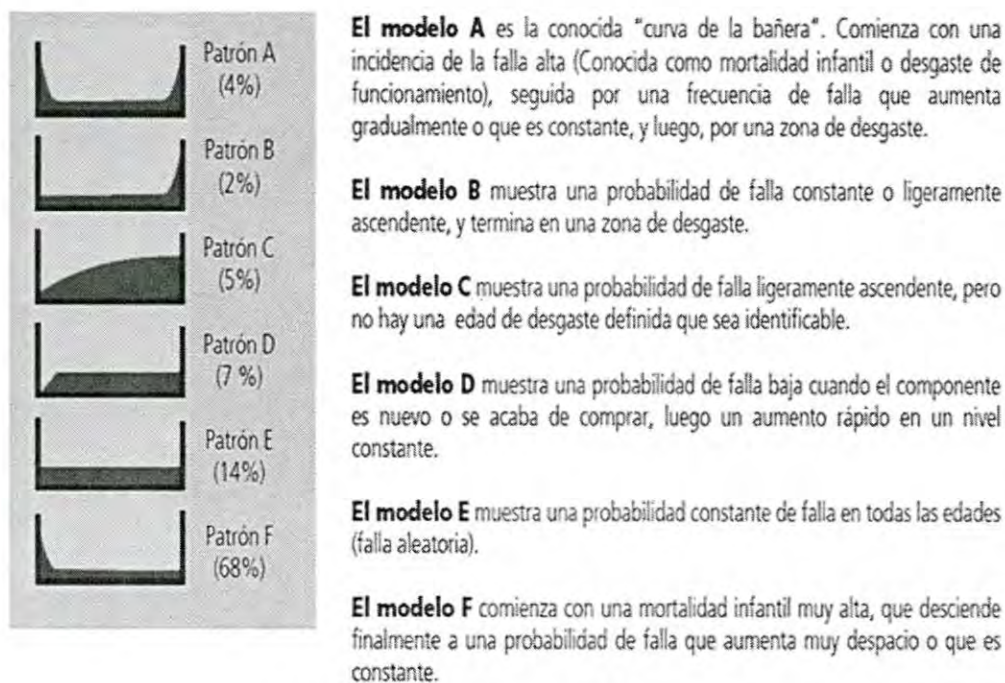


Figura 2.1 Curvas de la bañera

Puede observarse en el gráfico la probabilidad condicional de falla contra la vida útil para una gran variedad de elementos eléctricos y mecánicos.

Como ejemplo los estudios hechos en la aviación civil mostraron que el 4% de las piezas está de acuerdo con el modelo A; el 2% con el B; el 5%, con el C; el 7%, con el D; el 14%, con el E; y no menos del 68% con el modelo F.

En general, los modelos de las fallas dependen de la complejidad de los elementos. Cuanto más complejos sean, es más fácil que estén de acuerdo con los modelos E y F. Pero no hay duda de que cuanto más complicados sean los equipos más veces encontraremos los modelos de falla (E y F).

Estos hallazgos contradicen que la creencia de que siempre hay una conexión entre la confiabilidad y la edad operacional. Fue esta creencia lo que llevo a la idea de que cuanto más a menudo se revisaba una pieza, menor era la probabilidad de falla. Hoy en día esto es raramente verdad. A no ser que haya un modelo de falla dominante. Los límites de edad no hacen nada, o muy poco, para mejorar la complejidad de un equipo complejo.

2.1.2 Mantenimiento predictivo basado en temperatura

La termografía es una técnica de mantenimiento predictivo con aplicaciones muy concretas en mantenimiento basadas en el hecho de que todos los cuerpos, por estar a una temperatura superior al 0 absoluto, emiten una radiación electromagnética. *González J. (2005)*. Las aplicaciones típicas en la industria ilustradas en la figura 2.2, consisten en la inspección de patrones térmicos en equipos eléctricos como motores, componentes eléctricos como arrancadores, instalaciones industriales como aislamientos térmicos, entre otros.

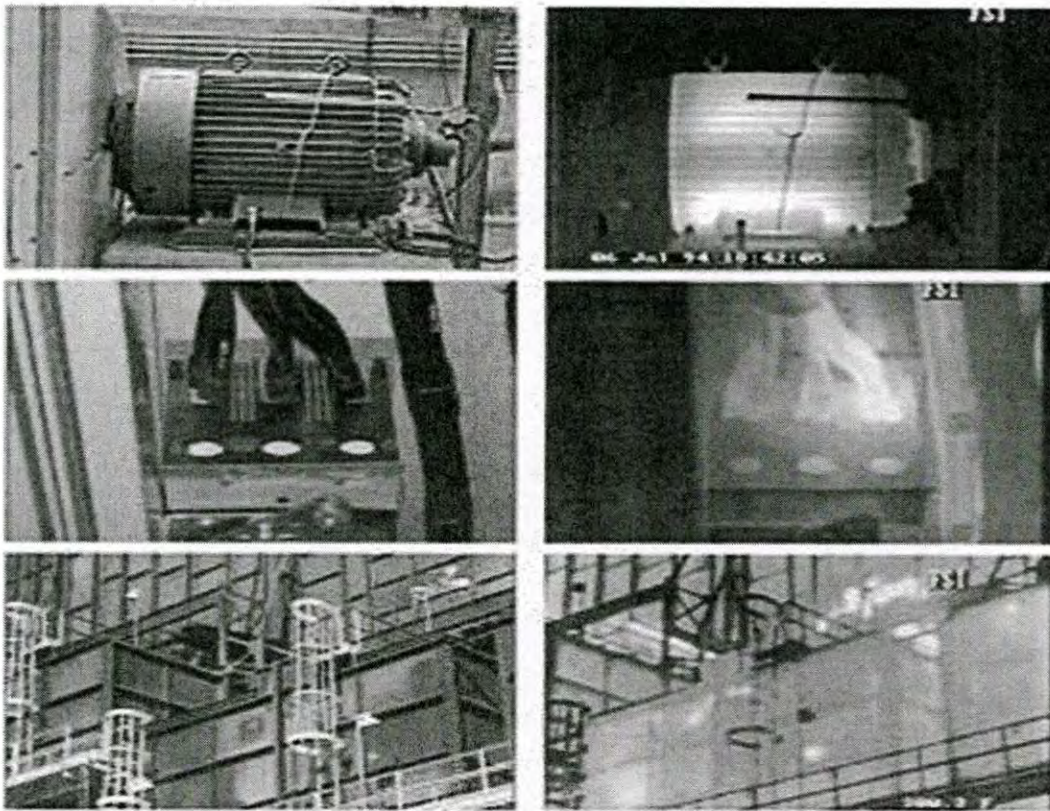


Figura 2.2 Imagen luz visible y termográfica.

Como es sabido una de las evidencias o variables, más claramente identificadoras de la degradaciones funcional de un gran número de elementos (rodamientos, reductores, conexiones eléctricas, componentes electrónicos entre otras.) es la temperatura. Dicha temperatura provoca, como ya se ha dicho, una radiación, y de convertirla en una imagen que representa la distribución de temperatura superficial del objeto observado.

La radiación que nos ocupa fue establecida por Max Planck según unas leyes asociadas a la distribución de energía de emisión de diferentes temperaturas de un cuerpo negro. Dichas leyes de radiación indican que las diferentes temperaturas adquiridas por un cuerpo calientes van a traducirse en energía radiada en diferentes longitudes de ondas, figura 2.3.

Ley de PLANCK

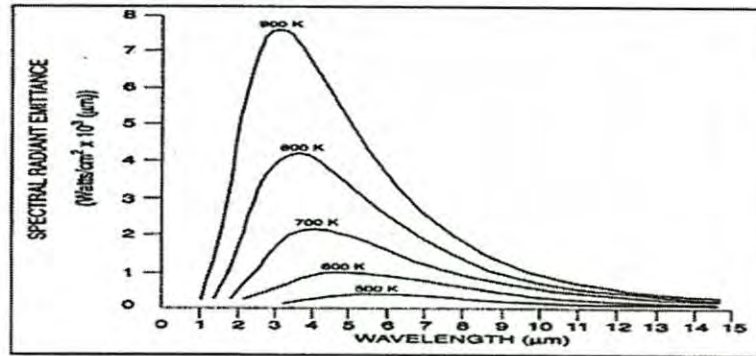


Figura 2.3 Ley de PLANCK.

Además de las leyes de Planck, la radiación se estudia con base en la ley de Stefan Boltzmann, que establece una proporcionalidad entre la radiación emitida y la temperatura del objeto que estamos analizando. El poder emisor de un cuerpo es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta, según la siguiente fórmula:

$$W = \sigma \varepsilon T^4$$

Donde:

$$\begin{aligned} W &= \text{radiación emitida} \\ \sigma &= \text{constante de Boltzman} (5.8 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}) \\ \varepsilon &= \text{emisividad} \\ T &= \text{temperatura} \end{aligned}$$

El sistema de mantenimiento predictivo, basado en termografía, se fundamenta en principio en captar, mediante una cámara la emisividad de la superficie del equipo, sistema, conexión o componentes que estamos analizando. Dichas cámaras son especiales según sea de onda corta (ventanas de 3 a 5 μm) o de onda larga (ventana de 8 a 13 μm) y según sea su resolución y precisión; desde cámaras portátiles para temperaturas próximas al ambiente hasta sistema de imagen infrarroja de alta resolución con sistemas piro eléctricos o sistemas enfriado criogénicamente. En la actualidad hay equipos que pueden captar temperaturas de -50 a 2000 $^{\circ}\text{C}$ con una

resolución de temperatura de $0,1^{\circ}\text{C}$, una resolución espacial de $100\ \mu\text{m}$ y una distancia de enfoque de 15 cm a cientos de kilómetros.

Estas medidas por infrarrojos tienen muchas ventajas, pues posibilitan además obtener la temperatura de objetos móviles y con difícil acceso. Al ser una técnica sin contacto, no interfiere con el funcionamiento o comportamiento propio del elemento que se está analizando y, además tiene la ventaja de poder captar grandes superficies con un tiempo rápido de respuesta y con una elevada precisión de repetitividad, por lo que es fácil realizar un archivo histórico evolutivo de estas medidas.

2.2 Esquema básico de captación por termografía

Unos de los problemas que suelen encontrarse, los técnicos de mantenimiento para aplicar esta técnica predictiva es la baja accesibilidad a elementos que deben ser medidos al inspeccionar un tablero eléctrico en el que para detectar conexiones calientes, es preciso abrir una tapa metálica, la temperatura interna puede ser muy diferente de la ambiente en situación cerrada que en situación abierta. Con estos simples ejemplos se busca evidenciar la conveniencia de tener en cuenta estas técnicas predictivas a la hora de realizar los proyectos presentándose de nuevo la necesidad de intervención por los técnicos para hacer mantenimiento en proyecto y prever la incorporación de estas técnicas desde el origen.

El ejemplo de esta técnica resultará ventajoso para numerosas aplicaciones, algunas de las cuales se indican en la tabla 2.1.

<p>Sistemas Eléctricos (Aparición de puntos calientes consecuencia del aumento de la resistencia de paso al envejecer)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estado de conexiones, bornas y aisladores. • Estudio e histórico de transformadores. • Estado de bobinado de motores/ generadores, armónicos, inducciones. • Desequilibrio de fases.
<p>Sistemas Mecánicos (Aparición de zonas calientes consecuencia del rozamiento entre elementos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de motores y generadores. • Estudio de rodamientos y poleas. • Sistemas de transmisión y cajas de cambios. • Estudio de motores y generadores. • Soldaduras. Malos alineamientos.
<p>Procesos Industriales (Aparición de zonas calientes consecuencia de fugas, grietas, estrechamientos, etc.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio y estado de válvulas. • Estudio de pérdidas térmicas o fugas de vapor. • Nivel de líquido de tanques. • Detección de tuberías subterráneas.

Tabla 2.1 Áreas de aplicación de termografía.

2.3 Historia y evolución de termografía infrarroja

La termografía infrarroja es uno de los métodos de ensayos no destructivos que más rápidamente han incrementado su presencia en el mundo de hoy. La premisa básica detrás de esta disciplina es que todos los objetos encima del cero absoluto (-459 F, -273 C) emiten radiación infrarroja invisible cuando un medio adecuado está presente (un gas o el vacío). Esta radiación es una función de una serie de diferentes características de los objetos, y solo una de estas, es la temperatura. Mucha gente está bajo la suposición de que un dispositivo de infrarrojos mide la temperatura. La verdad es que radiómetros infrarrojos portátiles desde \$100 dólares o un radiómetro con imagen térmica emitida desde la primer 1/1000 de pulgada. Esta energía puede o no puede ser una función de la temperatura del objeto. En muchos casos, sin embargo, un termógrafo bien entrenado con los conocimientos necesarios, es capaz de calcular una temperatura muy precisa

2.3.1 La primera ley de la termografía infrarroja

Instrumentos infrarrojos “ven” la radiación infrarroja de la primera 1/1000 de una pulgada de la superficie de la mayoría de los sólidos y líquidos. Por lo tanto: No miden o ven la temperatura. Y “no pueden ver” a través de la mayoría de los sólidos o líquidos.

El uso más común de hoy en día la termografía infrarroja es en el ámbito del mantenimiento industrial. Este campo ha cambiado drásticamente, especialmente en las últimas décadas, así como en las prácticas de mantenimiento han cambiado.

2.3.2 Análisis térmico y termografía infrarroja

La termografía infrarroja es una de las más recientes técnicas de investigación industrial/comercial y para desarrollo de pruebas. A diferencia de los rayos X que han estado en uso por más de 100 años o la prueba doble la cual se ha realizado por más de 75 años, la termografía infrarroja comenzó en 1960 y ganó aceptación general en 1970. El análisis térmico por otro lado es uno de los métodos conocidos más antiguos para evaluar la condición de los objetos. Cierta tipo de análisis térmico puede remitirse al año 400 AC cuando Hipócrates uso el sentido del tacto para determinar la salud de los pacientes.

Este principio del análisis térmico ha progresado hasta el punto de hoy, usando termografía infrarroja, las imágenes térmicas con diferencias de menos de .01 grados Celsius pueden ser vistas y medidas usando radiómetros sofisticados.

2.3.3 Termografía infrarroja

La termografía infrarroja es la colección y análisis de energía electromagnética radiada en la porción infrarroja del espectro electromagnético usando un dispositivo de imágenes térmicas infrarrojas. Los diferentes niveles de esta energía radiada por

el objeto y dentro del campo de visión de la cámara, se despliegan en diferentes colores en un monitor de video.

Los instrumentos infrarrojos miden la energía radiada o emitida por la primer 1/1000 pulgadas de la superficie de cualquier objeto. Las cámaras infrarrojas, no miden temperatura. La temperatura puede calcularse usando la computadora instalada dentro de la mayoría de las cámaras radiométricas.

2.3.4 La historia del análisis térmico y termografía

400 AC Hipócrates uso el sentido del tacto para determinar la salud de sus pacientes.

1590's Galileo Galilei inventó el termoscopio.

1669 Sir Isaac Newton estableció los principios primarios de la luz y propuso que la luz estaba hecha por partículas.

1678 Christian Huygens propuso la teoría de la luz en ondas.

1701 Claus Roemer inventó el termómetro de alcohol e hizo las divisiones de grados.

1714 Daniel Gabriel Fahrenheit inventó el termómetro de mercurio y adaptó la escala de Roemer.

1742 Anders Celsius, astrónomo suizo, presentó la escala de temperatura ahora conocida como escala Celsius. Es usada en todo el mundo excepto en los EU y es un estándar Internacional (SI).

1800 William Herschel descubrió los invisibles rayos infrarrojos al final de un espectro visible.

1840 Sir John Herschel produjo el primer termograma infrarrojo en una "grabación Infrarroja".

1873 James Clerck Maxwell formuló las leyes que describen las ondas electromagnéticas.

1900 Max Planck estableció la teoría cuántica en la que describe la energía radiada como la esencia formada por discretas cantidades de energía conocida como *fotones*.

1929 M. Cerny construyó el evapógrafo, el cual fue el primer dispositivo de imágenes infrarrojas que funcionó.

1946 El primer escáner infrarrojo fue usado para producir una imagen infrarroja. Tomo 1 hora producir la imagen.

1954 Se hizo el primer sistema de escaneo de imágenes infrarrojas. Tomo 45 minutos producir la imagen.

1960 Escáner infrarrojos tardan 4 minutos en producir una imagen.

1966 Introducción de la primera cámara en tiempo real comercialmente disponible, producción 20 imágenes/segundo.

1990 Cámaras infrarrojas de alta resolución FPA son capaces de producir cientos de imágenes por segundo.

1997 Introducción del primer sistema de medición FPA completamente sin enfriamiento.

2.3.5 Introducción a la temperatura

La temperatura es uno de los factores más importantes del mundo natural. Es también la medición más frecuentemente usada como una propiedad física. Más aun, hay quienes no entienden actualmente que es la temperatura. Algunos confunden "temperatura" como los fundamentos para entender el uso apropiado de su sistema infrarrojo.

A un técnico de infrarrojos; se le pedirá, en la mayoría de los casos, que reporte la temperatura exacta de los objetos que este inspeccionado. La temperatura es una de las mejores formas de determinar las condiciones de operación de la mayoría de los equipos y sistemas incluyendo al cuerpo humano. La vida está gobernada por la temperatura en una gran variedad de formas. La salud está continuamente

determinada por la temperatura del cuerpo, lo normal en una persona saludable es una temperatura de 36.2 C o 98.60 F.

Temperatura

Mucha gente confunde temperatura con el concepto de "caliente o frío". Esto debe reconocerse por la percepción de que caliente y frío es una idea relativa, mientras que el concepto de temperatura está bien definido, valores exactos que no cambian bajo variantes condiciones relativas. Consideremos un ejemplo de esto.

El salón en el que está a 30°C. Si una persona entra del exterior en medio del verano donde la temperatura ambiente es 45°C. ¿Cómo sentiría el salón? Seguramente lo sentiría un poco frío. El salón aun esta a 30°C solo que ahora en el norte y es invierno, con una temperatura ambiente de 10°F. Recuerda que la persona está entrando a un salón que tiene exactamente la misma temperatura que en el primer ejemplo. ¿Cómo se siente ahora el salón? Seguramente lo sentirá caliente.

Frijo en un ejemplo y caliente en otro, y la temperatura precisamente es la misma en ambos ejemplos ¿Entonces que es temperatura? Temperatura puede definirse como la *medición del promedio de la energía cinética de las moléculas*, es por lo que los dispositivos de temperatura son relativos. A la temperatura también se le define como; la habilidad de los cuerpos de ceder energía a otros objetos. Cuando dos objetos que están cercanos tienen la misma temperatura, no habrá transferencia de energía y se diría que los objetos están en equilibrio térmico.

La temperatura y la energía térmica interna están muy relacionadas, pero hay una importante distinción. La temperatura depende del promedio de la energía cinética por molécula o átomo mientras que el total de la energía cinética total aleatoria de todos los átomos o moléculas. Si por ejemplo el océano y un vaso de agua estuvieran a la misma temperatura, entonces el promedio de la energía cinética de una molécula en el vaso de agua será la misma de una molécula en el océano. Por otro lado, el océano tendrá mucho más energía térmica interna que el vaso de agua,

debido a que el volumen de moléculas es más grande comparado con el vaso de agua.

2.3.6 Introducción al calor

Cuando la energía es transferida entre dos objetos como el resultado de la estricta diferencia en temperaturas, el proceso es llamado *calor*. El calor no es la energía térmica total que cada cuerpo contiene, pero es, la cantidad de energía que se transfiere de un cuerpo a un cierto nivel de energía con otro nivel de energía menor o temperatura.

El calor se puede describir como la energía en tránsito. Es la cantidad de energía que fluye de un objeto o un área con alta temperatura a un objeto o área de menor temperatura. Un objeto no contiene calor, contiene energía térmica interna. Cuando un objeto se enfría, su energía interna térmica disminuye; cuando este se calienta, (significa el proceso de agregar energía térmica a un objeto) su energía térmica interna está aumentando.

Cuando dos objetos a diferentes temperaturas están en contacto con otro, el calor fluye del objeto más caliente al objeto más frío. Si los dos dejan de estar en contacto por un periodo de tiempo, ellos eventualmente en algún lugar llegarán a un equilibrio común de temperaturas entre las dos temperaturas iniciales. En este punto no puede fluir más calor. Cuando esto ocurre se dice que los dos objetos están en equilibrio térmico.

El calor es una forma de energía, por lo tanto las unidades están en energía. Llamado Joule (J) en el sistema SI. Antes de reconocer que el calor es una forma de energía, otras unidades le fueron asignadas. En algunos casos estas unidades, específicamente la caloría (cal) y la unidad térmica británica (Btu) están aún en uso. Están relacionadas al Joule de acuerdo con:

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J y } 1 \text{ BTU} = 1055 \text{ J.}$$

Conceptos básicos de transferencia de calor.

Esta sección se analiza los fundamentos de la teoría de transferencia de calor, así como una revisión más a fondo de la radiación. También se comenzará una mirada más cercana a la radiación infrarroja y los principios necesarios para una buena comprensión de la termografía infrarroja; algunos conceptos son:

- Conceptos básicos de termodinámica
- Calor latente
- Conceptos básicos de transferencia de calor por conducción
- Conceptos básicos de transferencia de calor por convección
- Calor específico
- Conceptos básicos de transferencia de calor por radiación
- Radiación general.

Calor

El calor se define como la energía que se transfiere o en tránsito de un lugar a otro como consecuencia únicamente de las diferencias de temperatura. La dinámica de este proceso de transferencia, constituye el principio del conocimiento conocido como transferencia de calor.

Ley cero de la termodinámica

En un conjunto de sistemas que permanecen en contacto, los sistemas alcanzarán un equilibrio termodinámico cuando las temperaturas sean estables.

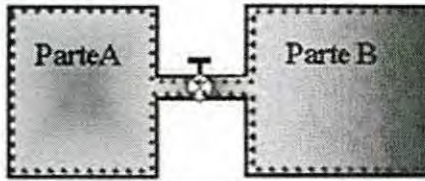


Figura 2.4 Dos cuerpos en equilibrio termodinámico

En la figura 2.4, podemos observar que al no estar en contacto la parte A y B, están en equilibrio, al momento de entrar en contacto, se llegará a un nuevo equilibrio y la temperatura de ambas partes cambiará.

Primera ley de la termodinámica

Con el descubrimiento hecho por Joule acerca del equivalente mecánico de calor, se demostró que la energía se convierte en energía térmica cuando por fricción aumenta la energía interna de un cuerpo; y que la energía térmica se convertía en energía mecánica si un gas encerrado en un cilindro se expande y se mueve un émbolo. A partir de aquí, se ha podido establecer claramente la Ley de la conservación de la energía. Esta ley, aplicada al calor, da como resultado el enunciado de la Primera Ley de la termodinámica, que dice: *La variación en la energía interna de un sistema es igual a la energía transferida a los alrededores o por ellos, en forma de calor y de trabajo, por lo que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma.*

La figura 2.5, muestra un claro ejemplo en el que la energía de una máquina de combustión interna se transforma en energía térmica y mecánica.

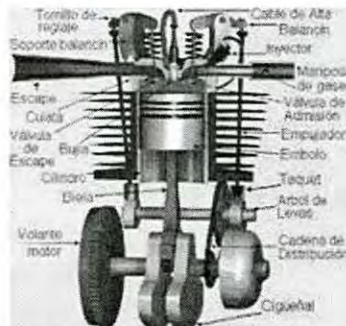


Figura 2.5 Sistema de combustión interna.

Segunda ley de la termodinámica

La energía térmica no fluye en forma espontánea de un sistema frío a otro caliente. Solo cuando se tiene dos sistemas con diferentes temperaturas se puede utilizar la energía térmica para producir trabajo. El calor fluye espontáneamente del sistema caliente al frío hasta que se igualan las temperaturas. Durante este proceso, parte del calor se transforma en energía mecánica a fin de efectuar un trabajo, pero no todo el calor puede ser convertido en trabajo mecánico. Sin embargo, la energía no se pierde, sólo es no utilizable.

La segunda Ley de la termodinámica establece:

1.- *El calor solo puede pasar de un cuerpo a otro por medio de un agente externo (Rudolph J. E. Clausius).*

2.- *No es posible construir una máquina térmica que transforme todo el calor en trabajo (William T. Kelvin).*

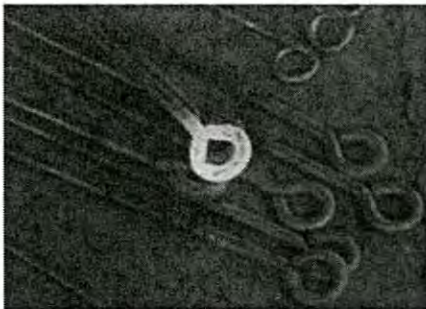


Figura 2.6 *Objetos frío ante objeto caliente.*

La figura 2.6 muestra un ejemplo de la transferencia de calor por conducción, en general, la energía térmica puede ser transferida de un cuerpo a otro por cualquier o todos los siguientes mecanismos:

1. Conducción
2. Convección
3. Radiación
4. Cambio de estado

Para realizar correctamente la termografía, evaluar las imágenes de infrarrojos y hacer suposiciones exactas sobre los materiales y objetos inspeccionados con la termografía infrarroja, el termógrafo debe tener una buena comprensión general de los principios de la conducción, convección y radiación.

Conducción

Definición: es la transferencia de energía desde las zonas de mayor temperatura en las zonas de menor temperatura como resultado del contacto íntimo entre las moléculas.

La conducción se realiza en un material sólido, líquido o gaseoso cada vez que hay una diferencia de temperatura. Es la única forma de transferencia de calor que pueden tener en lugar en un líquido, sólido o gas. Cuando las moléculas chocan entre sí las moléculas se mueven más rápido (mayor temperatura) y se desaceleran hasta que pierden energía, mientras que las de movimiento más lento (de baja temperatura) van ganando velocidad a medida que ganan energía. Este proceso de conducción continuará, hasta que finalmente, todas las moléculas se muevan a la misma velocidad. De esta manera, la energía térmica se iguala en todo el material y el material se convierte todo a la misma temperatura. Esto se conoce como un estado de "equilibrio térmico". Todos los objetos del mundo están constantemente tratando de alcanzar un estado de equilibrio térmico.

Este es el único método de transferencia de calor por el cual el calor puede influir a través de un sólido opaco. El calor también puede pasar de un material a otro de esta manera siempre que estén en contacto íntimo, pero la energía también puede ser transferida dentro del material de esta misma manera.

Convección

Definición: es la transferencia de energía desde las zonas de mayor temperatura en las zonas de menor temperatura por el movimiento de un fluido. (El fluido puede ser un líquido o un gas). Componentes: una diferencia de temperatura, un fluido y una diferencia de presión.

La convección no es técnicamente considerada una forma de transferencia de calor en su más estricto sentido del significado. Esto se debe al hecho de que la convección es dependiente del transporte de la masa de un fluido. El calor se transfiere no solo por "contacto" entre las moléculas, sino también por el movimiento de las moléculas. Como se mencionó anteriormente, en la conducción, las moléculas nunca cambian de su posición media. La convección puede tener lugar dentro de un fluido o entre un sólido estacionario y un fluido en movimiento, siempre que haya una diferencia de temperatura. Hay dos tipos de convección.

Convección natural: este tipo de convección depende de los efectos de la gravedad. Conforme a que el líquido se calienta, las moléculas en movimiento del fluido estarán más separadas y se incrementarán su excitación. Esto hace que esta área sea menos densa o más ligera y se eleve o suba el fluido más ligero. La gravedad hace que las zonas más densas o más pesadas del fluido tiendan a caer, creando así una corriente de convección natural.

Convección forzada: si la diferencia de presión se suministra por algún otro mecanismo, como un ventilador, una bomba, o incluso el viento, la convección se denomina convección forzada. Cuanto mayor sea la velocidad del fluido en relación con un sólido, mayor es la tasa de transferencia de calor por convección.

Transferencia de calor por Radiación

Es la transferencia de energía a través de un gas o el vacío de los objetos (sólidos o líquidos) que están a temperaturas superiores hacia los objetos (sólidos o líquidos) a una temperatura inferior, esto a través de, la alternancia de ondas electro magnéticas. Componentes: una diferencia de temperatura, objetos que son sólidos o líquidos y un medio de transmisión (un gas o el vacío). Hay muchas diferentes formas de radiación electromagnética. La transferencia de calor por radiación tiene lugar principalmente en la zona del espectro electromagnético conocido como la banda del infrarrojo.

Así como las moléculas en la superficie de un objeto se calientan y aumenta su movimiento cinético vibratorio también aumenta la emisión de radiación

electromagnética infrarroja. Cuando esta radiación choca contra otro objeto, esta energía es absorbida por este objeto. Si el segundo objeto está a una temperatura más baja que el primer objeto, esta energía adicionada o cedida, hace que las moléculas del objeto más frío vibren más rápido, lo que aumenta la temperatura del objeto más frío. En este punto debemos comprender que hay una diferencia entre la energía radiada y la transferencia de calor por radiación. Para que exista transferencia de calor por radiación, de acuerdo con la definición de la transferencia de calor, debe haber una diferencia de temperatura, si no, tendremos el estado de equilibrio térmico y no habrá transferencia de calor.

Radiación

Es la emisión de energía por medio de la alternancia de electro ondas magnéticas. La radiación puede venir en muchas formas, desde las ondas de radio de longitud de onda muy larga, hasta los rayos *gamma* de longitud de onda extremadamente corta. La radiación *gamma* es capaz de viajar a muchos metros en el aire y muchos centímetros en el tejido humano. Penetra fácilmente la mayoría de los materiales y a veces se llama "radiación penetrante".

En este proceso de transferencia de energía por radiación, puede tener lugar sin la presencia de ningún material en el espacio existente entre los objetos que radian y los que la reciben. La radiación del sol llega a la tierra a través del espacio vacío, así como a través de la atmósfera terrestre. El sol es la mayor fuente de energía para la tierra.

2.4 El espectro electromagnético

En la figura 2.7 se ilustra el espectro electromagnético, comúnmente es representado como un cuadro de energía, en el cual se describe el rango completo de los tipos de radiación electromagnética conocidos. Las ondas electromagnéticas varían de longitud de onda grandes, ondas de radio de baja frecuencia, de 1000 metros o más,

bajan a frecuencias muy altas, rayos gamma de longitud de onda corta, 1×10^{-9} , o un millonésimo de un metro también llamado nanómetro.

Algunos de los diferentes tipos de radiación en el espectro electromagnético sobrepasan unos a otros cuando tienen la misma frecuencia y longitud de onda. Por ejemplo, ondas de microondas y radio pueden tener la misma longitud de onda y frecuencia y ambas pueden usarse para llevar señales de comunicación. La diferencia está en cómo se transmiten y reciben. Las ondas de radio son transmitidas por el uso de una omni antena aérea direccional y se reciben por un radio receptos mientras que las microondas son producidas por una antena parabólica de microondas direccional y pueden apuntar a una antena parabólica receptora.

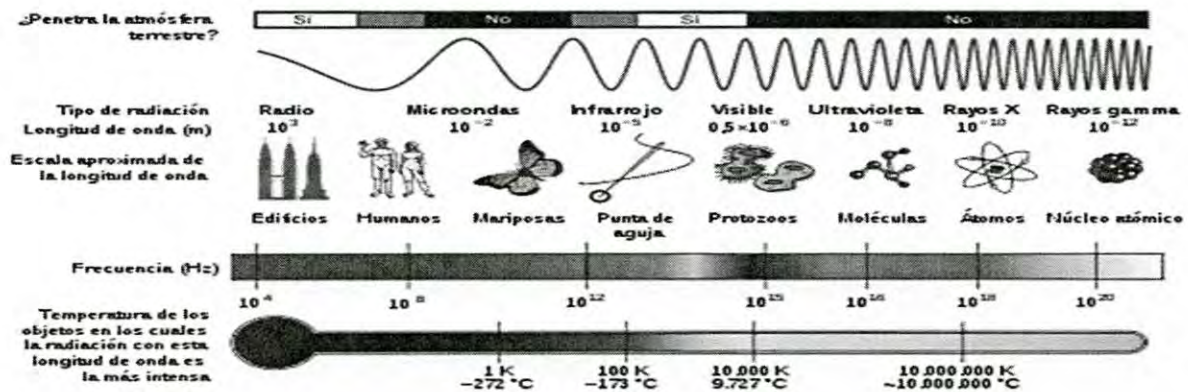


Figura 2.7 Espectro electromagnético.

2.4.1 Espectro infrarrojo

La porción del espectro electromagnético es de 1-1000 micrones. Todos los objetos cercanos al cero absoluto (-273 C) emiten radiación electromagnética en la forma de rayos infrarrojos. Esta energía es emitida por la primera milésima de pulgada (0.001 in) de la superficie de un objeto. Hoy hay muchos instrumentos que usan este tipo de radiación electromagnética. El control remoto de estéreos o TV usan energía

infrarroja, algunos radares de la policía también la usan, sistemas no caros de seguridad usan detectores infrarrojos de movimiento.

En este trabajo se pondrá interés en los dispositivos conocidos como cámaras de imágenes infrarrojas. La porción de imagen infrarroja del espectro electromagnético puede dividirse en dos principales aéreas al ver por la cámara. Son los productos que intensifican la luz comúnmente conocidos como visión nocturna y están los dispositivos termográficos infrarrojos, los cuales son llamados cámaras infrarrojas. En ambos casos usted no ve la escena directamente sin embargo el operador del dispositivo ve en la pantalla de LCD o CRT una representación de la escena, o una imagen producida directamente.

2.4.2 Física de la radiación infrarroja

Para un completo entendimiento de la imagen infrarroja se debe tener conocimientos de algunas de las bases físicas que hay detrás de la radiación infrarroja.

La radiación infrarroja fue descubierta por Sir William Herschel, el año 1800. El tuvo un agudo interés en observar la luz que más adelante accidentalmente descubrió. En el estudio la física clásica, los físicos tenían continuamente la necesidad de usar escenarios perfectos o situaciones ideales para formular sus teorías o leyes de física. El estudio de la radiación infrarroja no fue la excepción. Aquellos que continuaron el trabajo de la radiación infrarroja comenzada por William Herschel basaron sus teorías y leyes en un objeto teórico conocido como cuerpo negro.

Un cuerpo negro es un objeto teórico que emite una cantidad máxima de energía en todas las temperaturas y en todas las longitudes de onda. Un cuerpo negro es entonces las dos cosas: un objeto perfecto emisor así como un objeto perfecto para absorber. Este absorbe el 100% de todas las radiaciones incidentes. Gustav Kirchhoff en 1858 descubrió que un cuerpo con la habilidad de absorber radiación infrarroja es usualmente igual a su habilidad para emitir radiación infrarroja.

2.4.3 Leyes de la radiación infrarroja

Hay tres fórmulas principales o leyes referentes a la radiación infrarroja. Todas ellas basadas en el comportamiento del llamado objeto teórico conocido como cuerpo negro.

Ley Stephan-Boltzmann, (Joseph Stephan 1879, Ludwig Boltzmann 1884)

Stephan por el experimento y Boltzmann por la teoría determinaron que la cantidad de energía radiada por un objeto es proporcional a la temperatura de este objeto en grados Kelvin, elevada a la 4ª potencia. Esto significa que un pequeño cambio en la temperatura significa un gran cambio en la energía radiada.

Esto explica porque los sistemas infrarrojos son tan sensibles a los pequeños cambios en temperatura. La fórmula para determinar la cantidad de energía emitida por un objeto se debe a su temperatura absoluta.

$$Q = 5.67 \times 10^{-8} T^4$$

Donde:

Q = Energía emitida.

T = Temperatura en grados Kelvin.

Ley Wein

La mayoría de los objetos emiten energía en muchas longitudes de onda. Sin embargo, hay una longitud de onda específica en la cual hay una cantidad máxima de energía emitida. Esta longitud de onda puede ser determinada por la aplicación de la ley de Wein a cualquier temperatura. La temperatura debe estar en grados kelvin.

Esta ley es muy útil para los inspectores para determinar cual longitud de onda del dispositivo debe ser seleccionada para obtener la máxima exactitud cuando se ven temperaturas específicas.

La Ley de Wein determina la longitud de onda, en micrones, en la cual la máxima cantidad de energía es emitida por un objeto a cualquier temperatura específica en grados kelvin mediante la fórmula:

$$\lambda_{max} = 2898 \div T. kelvin$$

Donde:

λ_{max} = Longitud de onda

$T. kelvin$ = Temperatura específica en grados kelvin

2898 = Constante de Wein

Ley de Energía Radiante Total

Una cámara infrarroja detecta la energía radiada que puede venir de tres distintas fuentes. Esta puede detectar energía que es emitida de objeto a objeto debido a la temperatura de los objetos. Este puede registrar la energía que se refleja en el objeto y proviene del fondo.

Es posible que la cámara pueda ver la energía que viene de un objeto que está detrás de un objeto de interés que se transmite a través del objeto de interés. Por lo tanto se puede inferir que la fórmula de la radiación de energía que incide en el detector de una cámara infrarroja y es la responsable de la imagen o termograma obtenido. Esto puede describirse de la siguiente manera:

$$TRE = E + R + T = 1 \text{ por unidad o } 100\%.$$

Donde:

TRE = Energía Radiante Total.

E = Energía Radiante Emitida.

R = Energía Radiante Reflejada.

T = Energía Radiante Transmitida.

En realidad la mayoría de los objetos no tiene un valor de transmisión. La mayoría de los objetos son opacos o no transparentes. En general, todos los objetos que se pueden ver alrededor son opacos. Aun el vidrio de la ventana de una oficina o cuarto, que es transparente a los ojos, es opaco a la cámara infrarroja. Las cámaras infrarrojas que desarrollan el cálculo de temperaturas requieren que el operador introduzca el valor correcto para la contabilización del rango en el cual los objetos emiten energía y también el valor para contabilizar la reflexión o reflejo de la parte trasera de un objeto. Por ello la fórmula anterior puede reducirse a:

$$**TRE = E + R = 1 por unidad o 100\%.**$$

Donde:

TRE = Energía Radiante Total.

E = Energía Radiante Emitida.

R = Energía Radiante Reflejada.

Para entender verdaderamente y analizar la imagen infrarroja se debe tener un buen conocimiento del término emisividad y todas sus implicaciones.

Emisividad

La emisividad es la razón al cual un objeto emite energía comparada con un cuerpo negro a una temperatura dada y longitud de onda, la tabla 2.2, muestra los valores de emisividad para algunos materiales calculados con equipo termográfico de onda larga. Sin conocer la emisividad del objeto de interés, no podremos hacer suposiciones acerca del objeto. Emisividad y reflejo son los dos principios más importantes al analizar la imagen infrarroja.

La emisividad de un objeto es determinada por 5 características:

1. Material del objeto.
2. Condiciones de la superficie del objeto (primeros 1/1000”).
3. Temperatura del objeto.
4. Longitud de onda.
5. Geometría del área observada.

Material	Emisividad
Aluminio-papel de plata/nuevo pulido	0.04
Aluminio-viejo, oxidado, descolorido	0.90
Asfaltos	0.93 a 0.95
Cerámica y ladrillo	0.80 a 0.95
Tela	0.95
Concreto	0.94 a 0.95
Cobre-nuevo	0.04
Cobre-oxidado	0.40-.98
Cinta eléctrica	0.95
Vidrio	0.76 a 0.85
Superficies pintadas	0.74 a 0.96
Papel	0.50 a 0.95
Plástico	0.95
Arena	0.90
Nieve	0.82 a 0.89
Tierra	0.90 a 0.98
Acero, hierro oxidado	0.65 a 0.95
Acero inoxidable	0.10 a 0.80
Agua	0.93
Madera	0.89 a 0.94

Tabla 2.2 Emisividad de los materiales.

2.5 Operación de la cámara termográfica

La termografía infrarroja puede clasificarse en dos categorías básicas: hay inspecciones de tipo cualitativo y cuantitativo. En la inspección cualitativa el técnico termógrafo se concentra en la producción de imágenes térmicas de buena calidad, esto es bien enfocadas, bien definidas, entre otras. La inspección cuantitativa se sirve de los termogramas de buena calidad para hacer inferencias suficientemente precisas acerca de la temperatura y patrones térmicos del objeto de interés atendiendo las leyes de la termografía y leyes de la termodinámica. Como lo muestra la figura 2.10 los técnicos en termografía ven la energía infrarroja que es radiada por el objeto, sin correcciones de reflejo, emisión, transmisión o atenuación atmosférica, entre otros.

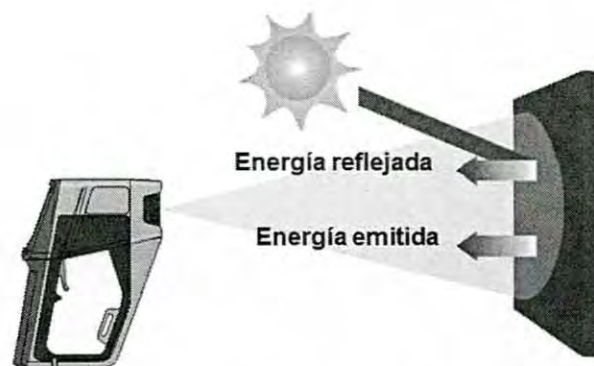


Figura 2.8 Esquema básico de captación por termografía.

Aunque no se realicen mediciones, el técnico termógrafo necesita un entendimiento básico de las características de emisividad para hacer un juicio correcto sobre los patrones térmicos presentes. Los cuatro principales controles que se ajustan en una cámara infrarroja para obtener una buena imagen térmica son:

- Nivel
- Rango o span
- Enfoque
- Rango de temperaturas de la cámara

La figura 2.11 muestra la relación entre los controles Nivel y SPAN, dentro del menú de la cámara Fluke Ti10, los cuales son necesarios ajustar adecuadamente para contribuir a un análisis más exacto de la temperatura y patrón térmico del objeto de interés.

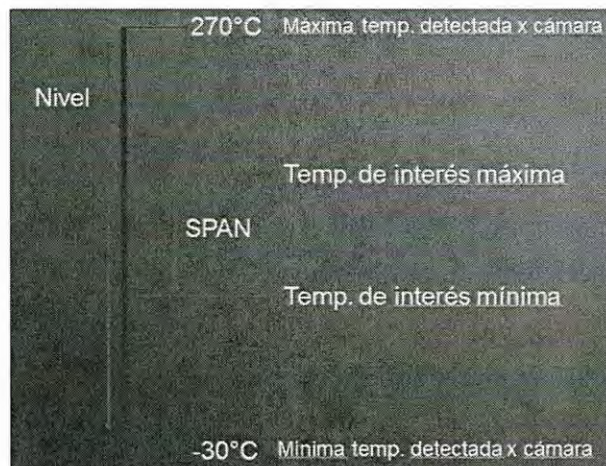


Figura 2.9 Principales controles para operar cámara termográfica.

La imagen no debe tener color blanco o negro en las áreas de interés. La imagen será manipulada o ajustada hasta usar al menos el 90% de los colores de la paleta que se tenga seleccionada. El enfoque debe ajustarse hasta que los bordes del objeto estén definidos claramente. En algunos sistemas, el rango y el nivel (*span*) se pueden ajustar después de congelar o almacenar la imagen. El enfoque no se puede cambiar en una imagen congelada o ya almacenada. Asegúrese de que el enfoque sea el adecuado cuando guarda la imagen. El 95% del tiempo aplicado por los termos grafistas, se usara en desarrollar exclusivamente tomografía cualitativa.

La termografía cuantitativa solo se realiza después de haber obtenido una buena imagen cualitativa. La termografía cuantitativa involucra el desarrollo del cálculo de las temperaturas en las áreas específicas de interés. Por eso para ser exactos en estos cálculos, la mayoría de los sistemas termográficos requieren que usted introduzca correctamente los valores de:

- Emisividad

- Reflejo del fondo
- Distancia
- Humedad relativa

Muchos sistemas de “onda larga” no requieren o ni siquiera le permiten al operador, establecer los valores de “distancia” y “humedad relativa”, debido a los pequeños efectos relativos que tiene la atmosfera y su atenuación de la energía infrarroja, sobre las condiciones normales en el trabajo industrial.

2.6 Competencia técnica normalizada (ISO/IEC 17025)

En presente trabajo contempla la elaboración de una propuesta de procedimiento para los ensayos de temperatura con cámara termográfica, con el objetivo de contribuir a la validación de las competencias técnicas en dicha área en la Universidad de Sonora Unidad Regional Sur. Por lo anterior en este apartado se abordará las recomendaciones que se deben seguir para la elaboración de dicha propuesta de procedimiento de acuerdo a normas de referencia oficiales.

La asociación estadounidense para prueba de materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) define la normalización como *“el proceso de formular y aplicar reglas para una aproximación ordenada a una actividad específica para el beneficio y con la cooperación de todos los involucrados”*.

2.6.1 Norma

La norma es la misma solución que se adopta para resolver un problema repetitivo, es una referencia respecto a la cual se juzgará un producto o una función y en esencia es el resultado de una elección colectiva y razonada.

Prácticamente, la norma es un documento resultado del trabajo de numerosas personas durante mucho tiempo y normalización es la actividad conducente a la elaboración, aplicación y mejoramiento de las normas.

2.6.2 Principios básicos de la normalización

La normalización técnica como cualquier actividad razonada cuenta con principios básicos, los cuales son producto, en parte, de la actividad de la STACO, organismo creado por la organización internacional para la normalización (ISO) que se dedica a estudiar y establecer los principios básicos para la normalización.

Concretamente la norma ISO/IEC: 17025 recomienda en su fracción 5.4 titulada “Métodos de ensayo y de calibración y validación de los métodos” que en el desarrollo de procedimientos (establecidos por el mismo laboratorio) para evidenciar competencia técnica se deben de seguir lo recomendado en la fracción 5.4.4 titulada “Métodos no normalizados” que demanda lo ilustrado en la figura 2.12.

Cuando sea necesario utilizar métodos no normalizados, éstos deben ser acordados con el cliente y deben incluir una especificación clara de los requisitos del cliente y del objetivo del ensayo o de la calibración. El método desarrollado debe haber sido validado adecuadamente antes del uso.

NOTA Para los métodos de ensayo o de calibración nuevos es conveniente elaborar procedimientos antes de la realización de los ensayos o las calibraciones, los cuales deberían contener, como mínimo, la información siguiente:

- a) una identificación apropiada;
- b) el alcance;
- c) la descripción del tipo de ítem a ensayar o a calibrar;
- d) los parámetros o las magnitudes y los rangos a ser determinados;
- e) los aparatos y equipos, incluidos los requisitos técnicos de funcionamiento;
- f) los patrones de referencia y los materiales de referencia requeridos;
- g) las condiciones ambientales requeridas y cualquier período de estabilización que sea necesario.
- h) la descripción del procedimiento, incluida la siguiente información:
 - la colocación de las marcas de identificación, manipulación, transporte, almacenamiento y preparación de los ítems;
 - las verificaciones a realizar antes de comenzar el trabajo;
 - la verificación del correcto funcionamiento de los equipos y, cuando corresponda, su calibración y ajuste antes de cada uso;
 - el método de registro de las observaciones y de los resultados;
 - las medidas de seguridad a observar.
- i) los criterios o requisitos para la aprobación o el rechazo;
- j) los datos a ser registrados y el método de análisis y de presentación;
- k) la incertidumbre o el procedimiento para estimar la incertidumbre.

Figura 2.10 Requisitos a cumplir en la elaboración de procedimientos de ensayos según la norma ISO/IEC 17025

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se establece la metodología seguida para la elaboración del procedimiento de ensayos termográficos, debe recordarse la necesidad de cumplir cabalmente los requerimientos de la norma ISO/IEC 17025 en su fracción 5.4, por ello se adoptarán como metodología base los requerimientos de esta norma específicamente en su fracción 5.4.4. "Métodos no normalizados".

Se adoptará la opción de métodos no normalizados debido a que la realización de ensayos termográficos puede cubrir una muy amplia gama de aplicaciones desde mantenimiento eléctrico hasta aplicaciones en medicina, seguridad, entre otros; y no sería operable adoptar un método establecido pues existe una diversidad de aplicaciones aun dentro de las inspecciones de componentes eléctricas.

3.1 Requerimientos para elaboración de procedimiento no normalizado de ensayo según norma ISO/IEC 17025.

La fracción 5.4 de la norma ISO/IEC 17025 a la letra dice: *Cuando sea necesario utilizar métodos no normalizados, éstos deben ser acordados con el cliente y deben incluir una especificación clara de los requisitos del cliente y del objetivo del ensayo o de la calibración. El método desarrollado debe haber sido validado adecuadamente antes del uso.*

Para los métodos de ensayo o de calibración nuevos es conveniente elaborar procedimientos antes de la realización de los ensayos o las calibraciones, los cuales deberían contener, como mínimo, la información siguiente:

- a) Una identificación apropiada; Se refiere a un código alfanumérico que de identidad y rastreabilidad al procedimiento, equipo o instrumento en cuestión el cual debe ser visible y legible.

- b) El alcance; Se refiere a la explicitación de las actividades básicas para la aplicación del procedimiento desde su inicio hasta su conclusión.
- c) La descripción del tipo de ítem a ensayar o a calibrar; Se refiere al mensurando objeto de tomarle una termografía para conocer su temperatura.
- d) Los parámetros o las magnitudes y los rangos a ser determinados; Se refiere en éste caso a la temperatura expresada en grados Centígrados o Fahrenheit, el factor de emisividad y temperatura ambiente.
- e) Los aparatos y equipos, incluidos los requisitos técnicos de funcionamiento; Se refiere a los equipos necesarios para la realización de ensayos de termografía esto es; cámara termográfica, termómetro, computadora.
- f) Los patrones de referencia y los materiales de referencia requeridos; Materiales de emisividad conocida y tablas de emisividad.
- g) Las condiciones ambientales requeridas y cualquier período de estabilización que sea necesario. Se refiere a la necesidad de controlar las variables ambientales según la naturaleza del ensayo o calibración. En este caso al ser el ensayo de termografía una prueba de campo son mínimos las variables controlables.
- h) La descripción del procedimiento, incluirá la siguiente información:
 - La colocación de las marcas de identificación, manipulación, transporte, almacenamiento y preparación de los ítems;
 - Las verificaciones a realizar antes de comenzar el trabajo;
 - La verificación del correcto funcionamiento de los equipos y, cuando corresponda, su calibración y ajuste antes de cada uso;

- El método de registro de las observaciones y de los resultados;
 - Las medidas de seguridad a observar.
- i) Los criterios o requisitos para la aprobación o el rechazo; Para el caso de Ensayos de Termografía Infrarroja se refiere a los criterios bajo los cuales (al inspeccionar un objeto) se considerará normal o anormal el patrón térmico.
- j) Los datos a ser registrados y el método de análisis y de presentación; Se refiere a la estandarización en la obtención, procesamiento y presentación del informe al cliente que contrate ensayos de termografía. En éste caso para la colección se utilizará cámara termográfica marca Fluke modelo Ti10, para el procesamiento de datos se utilizará software Fluke Smartview 3.0 y para la presentación de informes se utilizará plantillas en Word prediseñadas en el Software Fluke Smartview 3.0.
- k) La incertidumbre o el procedimiento para estimar la incertidumbre. En este caso al ser un ensayo de campo y no una calibración u ensayo controlado la norma exime este requisito, al considerar el poco control que se tienen de las variables ambientales en los ensayos de campo.


IV APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

En el presente capítulo se muestra la aplicación de los 11 pasos o incisos demandados por la norma ISO/IEC 17025 en su fracción 5.4, referente al desarrollo de procedimientos de ensayos no normalizados, a la par se irá integrando el procedimiento de ensayos termográficos, el cual se anexará al presente trabajo de forma íntegra.

4.1 Identificación apropiada

Este procedimiento de medición de temperatura por termografía infrarroja establece la estructura, contenido, revisiones y control para la medición de temperatura en campo en las aplicaciones y rangos establecidos en el alcance, instrucciones para la obtención de una buena imagen termográfica cualitativa y para su análisis cuantitativo mediante software Smart View 3.0, establece la estructura de formatos para informes de resultados de medición además de definir los registros de acuerdo a la norma **NMX-EC-17025-IMNC-2006 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración o su equivalente ISO/IEC 17025:2005 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.”**

En la figura 4.1 puede apreciarse la identificación propuesta para el procedimiento de medición de temperatura por termografía infrarroja, en ella se puede apreciar que se asignó la clave UNISON-SGLIE005, dicha clave hace referencia a lo siguiente UNISON, por ser un procedimiento que pertenece a la Universidad de Sonora, SGL, por ser un procedimiento del Sistema de Gestión de nivel 0, y 005 por haber 4 procedimientos previos al propuesto en este trabajo.

	Copia controlada: Original Emitida a: Centro de Integración de Sistemas de Manufactura Avanzada (CISMA)	NIVEL 0	No. de doc.: UNISON-SGLIE005 Revisión: 0 Fecha: DD-MM-AAAA Página X de XX
		Medición de temperatura por termografía infrarroja	

**MEDICIÓN DE TEMPERATURA POR
 TERMOGRAFÍA INFRARROJA**

No. de documento: UNISON-SGLIE005
No. de revisión vigente: 0

HISTORIAL DE REVISIONES

REVISION	PREPARADO POR	FECHA	APROBADO POR	FECHA EFECTIVA
XX	XXXXXX	DD-MM-AAAA	XXXXXXXXXX	DD-MM-AAAA

PREPARADO POR: XXXXXXXXXXXX APROBADO POR: XXXXXXXXXXXX

Figura 4.1 Portada del Procedimiento con apego a requisitos de Norma ISO/IEC: 17025

4.2 El alcance del procedimiento

Todos los elementos que intervienen en la realización de ensayos de medición de temperatura por medio de termografía infrarroja sea dentro de las instalaciones del CAM o en campo, desde la toma de la imagen térmica hasta su análisis en software Smart View 3.0, realizadas con cámara infrarroja marca Fluke Ti10.

Incluye las actividades necesarias para:

1. Obtención de un termograma. Comprende las actividades de campo en que utilizando la cámara termográfica se debe obtener y archivar una imagen del ítem al que deseamos medir su temperatura.
2. Análisis cuantitativo de un termograma. Comprende la descarga y análisis de la imagen térmica en software Smart View 3.0.

3. Informe a cliente. Comprende la realización de un documento en que se explica al cliente la normalidad o la anormalidad de los patrones térmicos encontrados así como recomendaciones para la corrección en caso de detectarse anomalías.

4.3 La descripción del tipo de ítem a ensayar o a calibrar

Los ítems objetos de ensayar en el presente procedimiento comprenden equipos y componentes eléctricos como; conexiones de buses de elementos, conexiones a cables aislados, aislamientos clase (THW, THHN), contactos interruptores, uniones conductoras, switches, uniones de conductividad mecánica (cobre), Piezas mecánicas y de proceso como; baleros, chumaceras, ejes, trampas de vapor, entre otras siempre que sea posible determinar su emisividad y las temperaturas máximas de operación.

4.4 Los parámetros o las magnitudes y los rangos a ser determinados.

La magnitud principal a determinarse en el presente procedimiento es la temperatura a objetos que se encuentren dentro del rango de los -20 y 250 °C, sin embargo es posible también determinar la emisividad de algunos ítems, aquellos cuyas características sea posible transportarlos a laboratorio.

4.5 Los aparatos y equipos, incluidos los requisitos técnicos de funcionamiento.

El equipo esencial en la realización de los ensayos termográficos es una cámara termográfica con las siguientes características.

Cámara termo gráfica Fluke Ti10:

La cámara Fluke Ti10 está diseñada para detectar radiación infrarroja en una longitud de onda entre 8 y 14 micrones, esto quiere decir que según las curvas de Planck que el rango óptimo de detección de temperatura está entre -30 y 270 °C. Para una lectura adecuada de temperatura es necesario especificar la emisividad y la temperatura de reflejo en software complementario Smart View 3.0, sin embargo debido a la longitud de onda en la que trabaja es depreciable los valores de humedad ambiental, se representa en la siguiente figura 4.2.



Figura 4.2 Cámara termo gráfica Fluke Ti10.

4.6 Los patrones de referencia y los materiales de referencia requeridos

Es importante precisar que una vez asegurada la calibración de la cámara termográfica, la variable crítica es la emisividad del ítem a ensayar, debido a que es difícil determinar esos valores en las pruebas de campo es necesario en algunos casos aplicar un recubrimiento al ítem del cual se conozca la emisividad, en ese sentido es necesario contar con materiales de emisividad conocida (material de referencia) para apoyar esas actividades.

4.7 Las condiciones ambientales requeridas y cualquier período de estabilización requeridos

La medición de temperatura por termografía infrarroja es realizable indistintamente de la temperatura ambiente, sin embargo si es un dato importante al realizar el análisis cuantitativo de la imagen térmica.

Debido a que los ensayos termográficos se realizan mayormente en equipos instalados y en funcionamiento se debe considerar lo siguiente:

- Las inspecciones deben realizarse en periodos con carga normal de trabajo, si los equipos a inspeccionar se encuentran des energizados deben ser encendidos y hacerlos funcionar con carga normal durante al menos 30 minutos o más según el caso.
- Para inspecciones a cielo abierto (por ejemplo sub estación eléctrica) es deseable evitar el reflejo excesivo del sol, por ello se recomienda realizar estas inspecciones muy de mañana o al atardecer, siempre y cuando la carga de trabajo del equipo inspeccionado sea la normal.
- En las aplicaciones de procesos debe evitarse que la frontera entre la lente de la cámara y la del objeto de interés esté libre de gases, vapor, polvo, grasa, entre otros.

- Cuando el objeto de interés este situado junto a otro objeto de mucha mayor temperatura (un horno, quemador, etc.) es recomendable colocar material que aisle al objeto de interés.

En condiciones de alta humedad, lluvia, corriente de polvos es recomendable cubrir la cámara termográfica con una película delgada de polietileno, el cual es transparente a la energía infrarroja.

Durante el análisis cuantitativo de los termo gramas obtenidos en campo, la iluminación debe ser suficientemente buena para llevar a cabo las operaciones con facilidad considerando 500 Lux. Se trabaja con Laptop sobre mesas de trabajo robustas libres de perturbaciones.

4.8 La descripción del procedimiento.

Condiciones de ensayo termográficos

- a) Verificar que el rango de calibración de la cámara termográfica cubra holgadamente la temperatura esperada del objeto de interés.
- b) Verificar el buen funcionamiento de la cámara, encenderla, mover el enfoque, mover el nivel y rango, verificar la carga de la batería y capacidad en la memoria SD.
- c) Verificar que el objeto de interés se encuentre libre de polvos, grasa, u otros contaminantes y determine según condiciones ambientales y carga de trabajo el mejor tiempo para realizar la termografía cualitativa.
- e) Determinar la emisividad del material del objeto de interés, **es posible cuando el cliente está más interesado en el patrón térmico que en la temperatura exacta** del objeto inspeccionado, utilizar tablas de emisividad que aparecen en el capítulo II tabla 2.2.

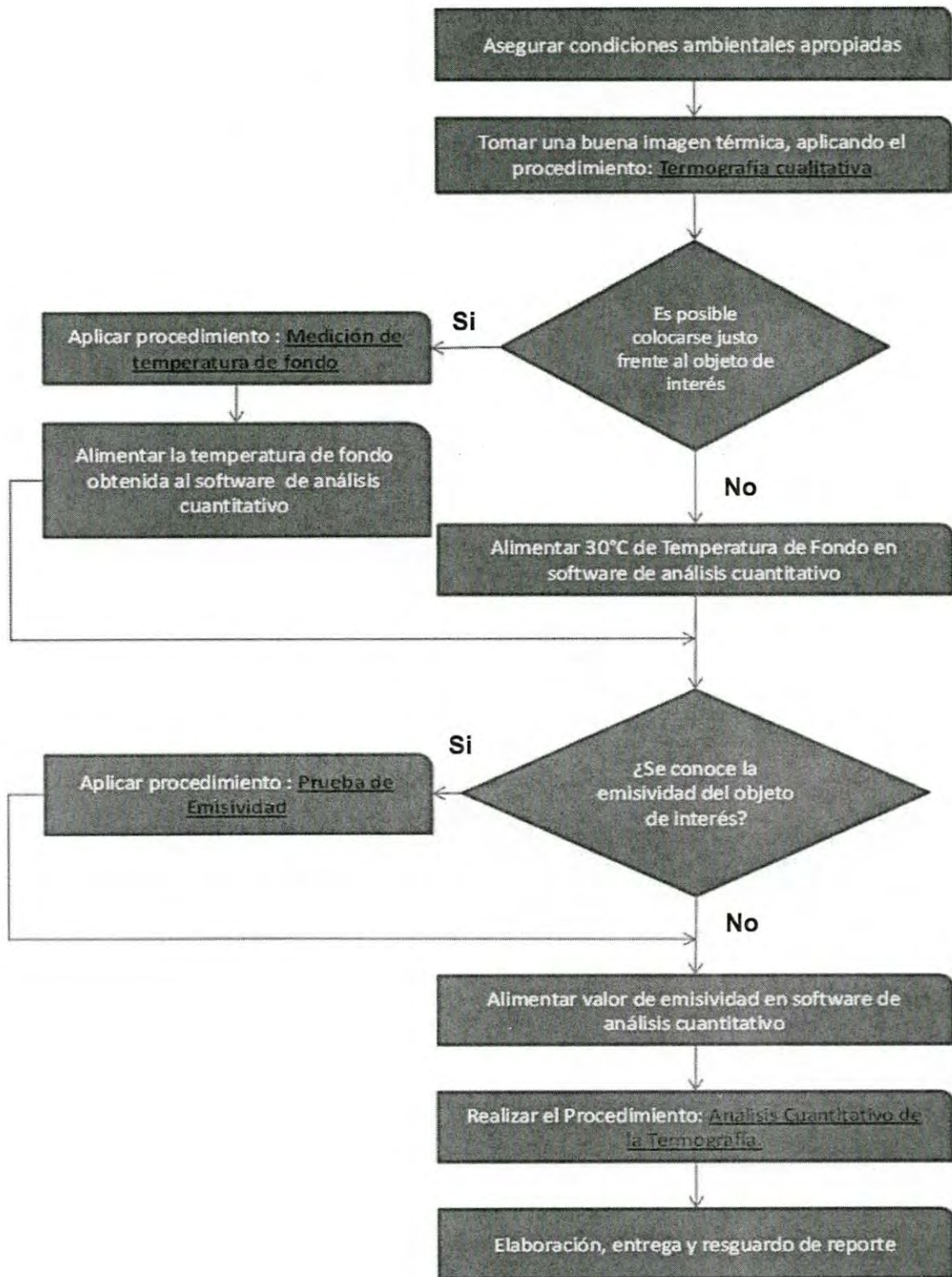


Figura 4.6 Modelo de los pasos a seguir para una correcta realización de ensayos termo gráficos.

Instrucciones de Ensayos termográficos

La figura 4.6 ilustra un modelo de los pasos a seguir para la correcta realización de ensayos termográficos, hace también referencia a cuatro procedimientos:

- 1.- Termografía cualitativa,
- 2.- Medición de temperatura de fondo,
- 3.- Prueba de emisividad y
- 4.- Análisis cuantitativo de la termografía, los cuales pueden o no aplicarse según sea el caso en particular.

Descripción de cada procedimiento:

1.- Termografía cualitativa (*Obtención de una buena imagen*)

El objetivo: obtener una buena imagen infrarroja utilizando los ajustes manuales de la cámara.

Una buena imagen se podrá juzgar por 3 principales características:

a).- **La primera es el enfoque.** Se debe ajustar al enfoque de la cámara hasta que se vea una buena línea nítida en la imagen representativa de un "borde" en el objeto de interés. En algunos casos el fondo o frente estará fuera del foco cuando el objeto de interés este enfocado; en las figura 4.7 se representa una imagen de un termograma mal enfocado en tanto que en la figura 4.8 se representa un termograma del mismo objeto ahora bien enfocada.



Figura 4.7 Termograma con enfoque deficiente.



Figura 4.8 Termograma bien enfocada.

b).- La segunda es la saturación de color. Consiste en asegurar que los objetos de interés no estén representados por el color negro o blanco en su imagen. Si se observa blanco o negro, esto significa que el objeto está térmicamente sobre o debajo del “espacio” de la cámara como normalmente está establecido. En este caso se debe ajustar en la cámara tanto el rango de sensibilidad (span) como el nivel; en las figuras 4.9 se representa una imagen de un termograma con saturación en tanto en la figura 4.10 se representa una imagen de un termograma utilizando más ampliamente los colores de la paleta.

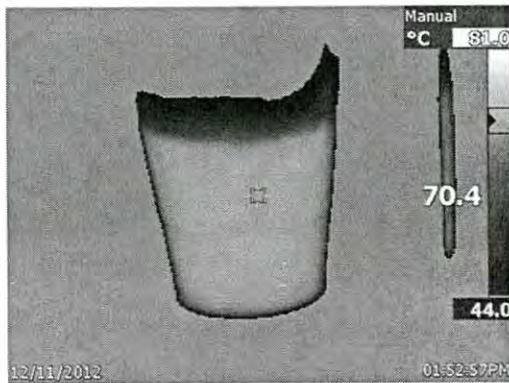


Figura 4.9 Termograma con saturación de color (nivel muy arriba).



Figura 4.10 Termograma utilizando todos los colores de la paleta (nivel adecuado).

c).- En el tercer componente de una buena imagen. Es el uso de al menos el 90% de los colores disponibles en la paleta que se esté usando. Si los objetos en su imagen están representados solo por 1 o 2 colores de la paleta en uso entonces no están aprovechando al máximo la sensibilidad térmica de la cámara, lo cual se representan en la figura 4.11 una imagen de un termograma utilizando solo dos colores de la paleta, en tanto en la figura 4.12 se observa una imagen de un termograma utilizando el 90% de los colores de la paleta.

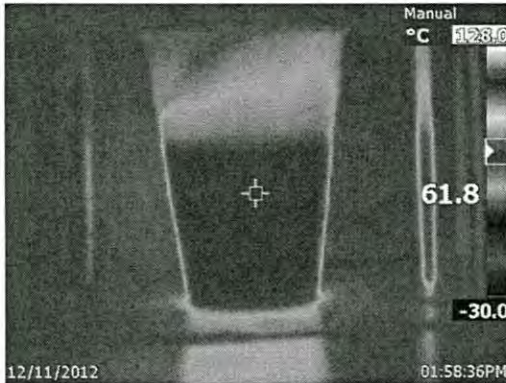


Figura 4.11 Termograma utilizando un solo color de la paleta de colores (rango muy abierto).

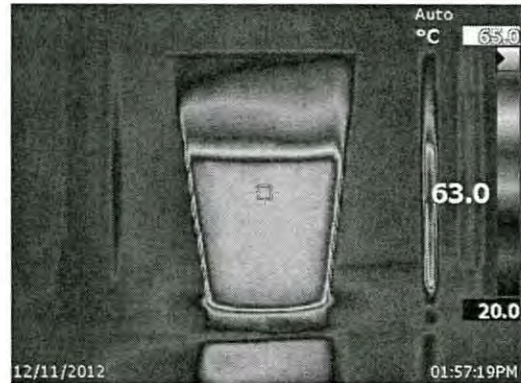


Figura 4.12 Termograma utilizando el 90% de los colores de la paleta (rango adecuado).

2.- Medición de temperatura de fondo (reflejo)

Objetivo: Conocer la cantidad de energía que el objeto de interés está reflejando como producto de la energía infrarroja emitida por el fondo.

Cuando se desarrolla el cálculo de temperatura con su sistema infrarrojo, se debe recordar que su sistema no “observa” temperaturas. La cantidad del reflejo del ambiente que se debe introducir en el sistema no es necesariamente un valor real de temperatura. Esta es realmente una pseudo temperatura que representa la cantidad de energía radiada que viene del fondo, energía reflejada por el objeto de interés y dirigida al lente del sistema infrarrojo.

Medición directa del reflejo

1. Determine el área de donde proviene el reflejo sobre su objeto de interés. Esto se puede hacer imaginándose como rebotaría una pelota lanzada hacia el objeto de interés y observando la dirección hacia donde se regresa (considerando el ángulo del rebote)
2. Fije en su cámara, el valor de emisividad igual a 1.

3. Con su sistema termo grafico, imagine el área de donde proviene el reflejo y utilice la función de medición "spot meter" o medición puntual, isoterma o selección de un área y determine cuál es el valor general "promedio" de temperatura del fondo.
4. Introduzca esta pseudo-temperatura en la función de reflejo ambiente (Temperatura ambiente) en su sistema.

3.- Prueba de emisividad

Objetivo: el objetivo de esta prueba es determinar la emisividad de un objeto para calcular una temperatura más precisa.

Material necesario:

- Radiómetro o cámara de imágenes infrarrojas
- Muestras del material en cuestión
- Equipo necesario para determinar la temperatura de la muestra
- Equipo o dispositivo necesario para calentar o enfriar un objeto

Medición directa de la emisividad

a. Usar un termopar u otro dispositivo de medición de contacto y determinar la temperatura del objeto. En el caso de objetos como tubos, los cuales se calientan por arriba de 500 grados centígrados, una probeta de contacto para temperaturas funcionaria bien.

b. Usando un sistema infrarrojo: aplicar al material con la emisividad conocida en una parte del objeto antes de calentarse por ejemplo cinta eléctrica negra (.96) o pintura de altas temperaturas (preguntar al fabricante la emisividad). Una vez que se tiene una buena imagen del objeto después de la modificación de la temperatura, usar una

de las funciones de medición de la cámara y determinar la temperatura del área del objeto del cual se conoce su valor de emisividad (el pedazo de cinta). Si se calentó uniformemente el objeto, la temperatura de la cinta y la del objeto del que desconocemos la emisividad será la misma.

c. Una vez determinada la temperatura del objeto de interés, usar una de las funciones de medición del sistema infrarrojo y hacer énfasis en un área del objeto de emisividad desconocida. En la mayoría de los casos la temperatura mostrada por la cámara, no estará acorde con la temperatura conocida que recién se determinó. Esto es porque el valor de la emisividad actual en el sistema es in-correcta.

d. Ajustar el valor de emisividad en el sistema infrarrojo hasta que la función de medición despliegue la verdadera temperatura del objeto. Ahora se ha determinado la correcta emisividad del material muestra.

NOTA: Esta prueba debe desarrollarse al menos 3 veces para asegurar la validez de la prueba.

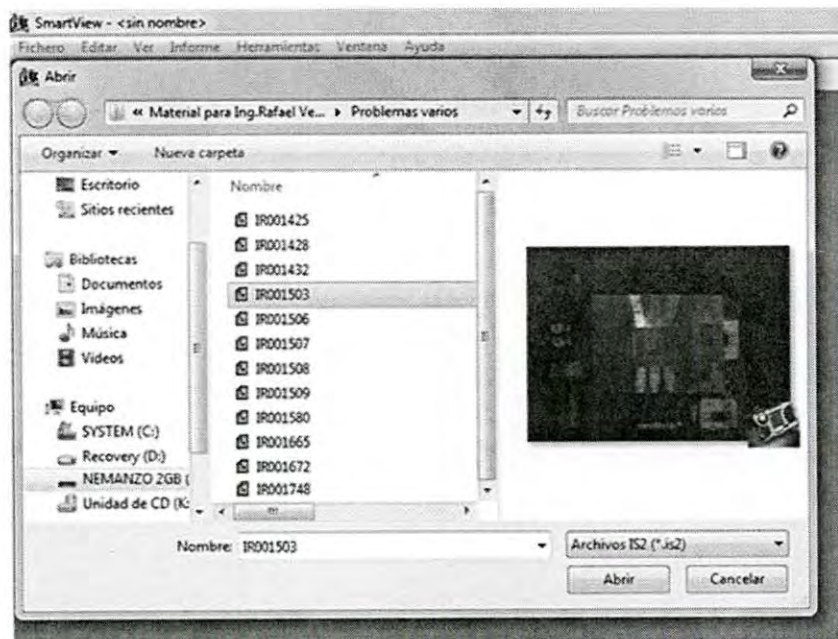
leg T130003

4.- Análisis cuantitativo de la termografía

Objetivo: Asignar un valor a la temperatura del objeto de interés así como determinar anomalías en el patrón térmico para proponer o no, alguna acción correctiva o de mejora en el equipo o instalación inspeccionada.

Operación:

1.- Como lo ilustra la figura 4.13, abra la o las imágenes termográficas obtenidas utilizando Laptop con software Smart View 3.0.



4.13 Ejemplo de descarga de termograma a software SmartView.

2. De clic en editar imagen como lo ilustra la figura 4.14,

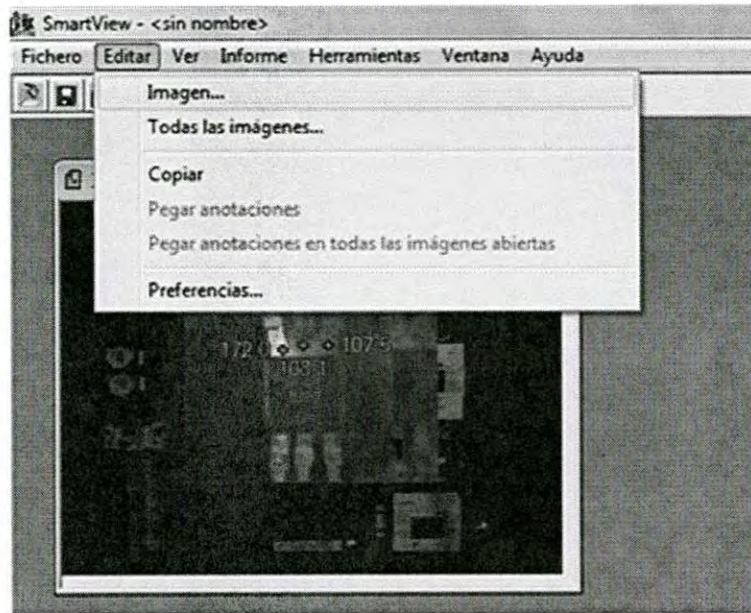


Figura 4.14 Edición de termograma en software SmartView.

3.- Alimente los datos de emisividad y temperatura de fondo, según lo ilustra en la figura 4.15, observe las elipses rojas sobre puestas.

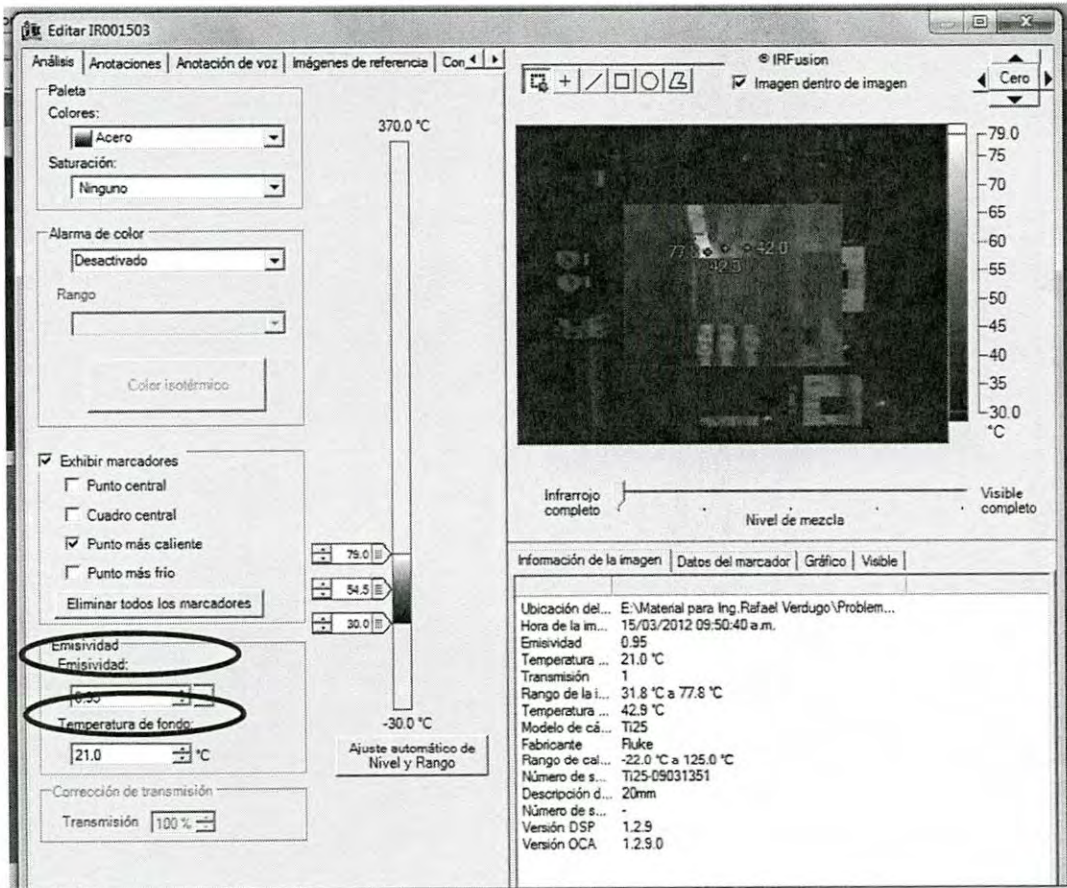


Figura 4.15 Asignación de emisividad y temperatura de fondo.

4. Consultando los criterios de las tablas 4.1 y 4.2 busque cualquier anomalía y en su caso seleccione un marcador cuadrado o elíptico de temperatura al término bajo análisis y comente esto en su informe, ver figura 4.16.

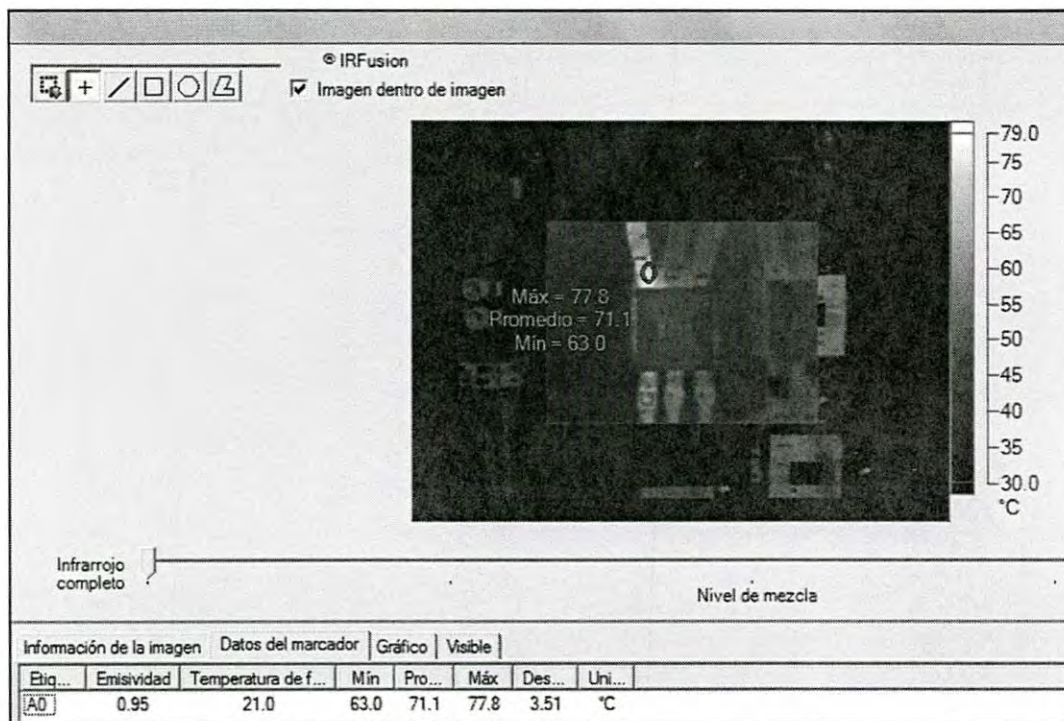


Figura 4.16 Selección de área del objeto de interés en un termograma.

5.- Recordando las leyes de la termodinámica, determine algún patrón térmico anormal o ineficiente y explique clara y concisamente en qué consiste la anomalía en su informe, agregando posibles causas de la anomalía.

Reporte de ensayo termográfico

Para la realización del reporte de los ensayos se utilizará las plantillas de Microsoft Word propuestas e incluidas en el software Smart View 3.0, el cual ofrece una secuencia de pasos en la pestaña del menú principal titulada "Informe". Ver ejemplo en anexo II y III.

4.9 Los criterios o requisitos para la aprobación o rechazo

Los criterios para el diagnóstico al utilizar este procedimiento se realizarán de acuerdo a dos criterios, la temperatura del componente en comparación con la temperatura ambiente y la diferencia de temperaturas entre componentes con las mismas cargas y capacidades, dichos criterios son expuestos en las siguientes tablas.

Límites de temperatura ANSI/IEEE		
Componente	Incremento sobre T ambiente	Temperatura Actual
Conexiones de buses de elementos no recubiertos con cobre a conexión de cobre	30 °C	70 °C
Conexiones a cables aislados con recubrimiento plata	45 °C	85 °C
Aislamientos de clase 90 (THHN)	50 °C	90 °C
Contactos interruptores, uniones conductoras, etc.	85 °C	125 °C
Swiches Aéreos - contactos de cobre o aleación cobre	33 °C	75 °C
Uniones de conductividad mecánica - cobre	43 °C	90 °C

Tabla 4.1 Límites máximos de temperatura en componentes eléctricos.

Tabla de prioridades de reparación.		
Delta de Temperatura (de componente normal a fase)		Prioridad de reparación
AAA	Mayor que 100°C	Severo sobre calentamiento (atención inmediata)
A	50°C - 99°C	Agudo sobrecalentamiento (tan pronto como sea posible)
B	30°C - 49°C	Desarrollando sobrecalentamiento (atender a la primera oportunidad)
C	10°C - 29°C	Segundo paso de sobrecalentamiento (programar cuando sea posible)
D	menor que 10°C.	Seguimiento mantenimiento programado

Tabla 4.2 Prioridad en reparación según diferencia de temperaturas entre componentes.

4.10 Los datos a ser registrados y el método de análisis y de presentación

Lo demandado en éste apartado de la norma se da cumplimiento en el punto IV.8 en los apartados "*Reporte de ensayo termográfico* y *Procedimiento: Análisis cuantitativo de la termografía*".

4.11 La incertidumbre o el procedimiento para estimar la incertidumbre

Éste punto no aplica al presente procedimiento por tratarse de un procedimiento de ensayo, sin embargo es preciso mencionar que la incertidumbre asociada a la cámara termográfica es de +/- 5% de la lectura registrada.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se hace un análisis objetivo de las acciones ejecutadas y los resultados obtenidos a partir de la ejecución de la metodología propuesta. Es preciso recordar que el presente trabajo pretende satisfacer los puntos demandados por la norma ISO/IEC: 17025 referente al desarrollo de procedimientos, por ello el análisis se centrara en analizar y contrastar los resultados obtenidos con los requisitos marcados por la mencionada norma.

La fracción 5.4.4 establece 11 requisitos para el desarrollo de procedimientos no normalizados, así, la figura 4.1 de portada del procedimiento da cumplimiento a el primer requisito de asignar una identificación apropiada. En el apartado 4.2 deja claro el alcance del procedimiento en 3 grandes etapas: obtención del termograma en campo, análisis cuantitativo del termograma en laboratorio y la realización de un informe al cliente lo cual da cumplimiento al segundo requisito. Aún que la aplicación de termografía puede ser muy amplia el apartado 4.3 deja claro los objetos y tipos de materiales contemplados en el procedimiento, dando así cumplimiento al tercer requisito. Al definir la temperatura de los objetos el parámetro objetivo y acotar esta de -20 a 250°C y mencionar los equipos a utilizarse (Cámara Termográfica, Termómetro y plancha de calentamiento) en los apartados 4.4 y 4.5 se cumple lo demandado en los incisos d) y e) de la fracción mencionada.

En la sección 4.7 se dan precisiones sobre algunos períodos de estabilización de los ítems objeto de ensayar, así como las condiciones ambientales que se deben evitar y recomendaciones para mitigar condiciones adversas, con lo anterior se da cumplimiento a lo requerido en el inciso g) de la norma en cuestión.

Para el cumplimiento del inciso h), relativo a la descripción del procedimiento, se presenta en la sección 4.8, la cual de manera explícita expone algunas condiciones previas a la realización de ensayos termográficos y de manera cronológica y con

ayuda de un diagrama de flujo describe rutinas y sub rutinas de actividades para la realización de termogramas, es preciso señalar que el procedimiento es flexible respecto de algunas variables que pudieran presentarse en las pruebas de campo, por ejemplo el desconocimiento de la emisividad de los materiales o la necesidad de medir la energía reflejada. Además la sección mencionada presenta ayudas visuales en la navegación de los menús tanto de la cámara termográfica para la obtención de un buen termograma (figuras: enfocad si/no- Saturada si/no – uso del 90% paleta si/no) como del Software Smart View3.0, para el correcto análisis cuantitativo del termograma (figuras: Abrir-Editar-Emisividad y Temperatura de fondo). Lo anterior da pleno cumplimiento a lo demandado en la Norma en cuestión.

La sección 4.9 establece los criterios para determinar condiciones de anomalía respecto de las lecturas de temperatura tomadas mediante la ejecución de este procedimiento, la tabla 4.1 muestra los límites máximos de temperatura en distintos componentes eléctricos, por su parte la tabla 4.2 establece un criterio de criticidad respecto a la diferencias de temperaturas entre componentes. Lo anterior da cumplimiento al inciso i) “Los Criterios de aprobación o rechazo”.

Es preciso señalar que lo demandado en el inciso j) “Los datos a ser registrados y el método de análisis y de presentación” están plenamente explicitados en la sección 4.8 del presente trabajo.

El último requisito hecho por la norma ISO/IEC:12025 para el establecimiento de procedimientos no normalizados es el inciso k) “La incertidumbre o el procedimiento para estimar la incertidumbre”, al respecto debe precisarse que este punto no aplica al presente procedimiento por tratarse de un procedimiento solo para ensayos y no para calibración.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En éste capítulo se presentan de manera sintetizada las conclusiones a las que llegaron los autores del presente trabajo al desarrollar el procedimiento de Ensayos Termográficos, la pertinencia de replicar esta iniciativa hacia otras áreas de los laboratorios de la Universidad de Sonora (con potencial demanda de los sectores industriales), también se dedica un espacio donde se puede emitir algunas recomendaciones para postergar y en su caso ampliar los logros alcanzados.

6.1 Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se concluye que:

Es pertinente emprender acciones orientadas a la documentación de los distintos ensayos realizados en laboratorios universitarios.

La aplicación de la metodología propuesta presenta evidencia de que fue posible la documentación de las actividades de ensayos de termografía infrarroja con suficiente apego a los requerimientos de la norma ISO/IEC: 17025, en lo referente a ensayos no normalizados. También fue posible explicitar algunas técnicas para calcular el índice de emisividad de los materiales objetos de medición, así como la estimación de la temperatura de fondo, variables críticas para la ejecución de ensayos termográficos. La suma de los procesos documentados han puesto a disposición de la Universidad de Sonora un documento mediante el cual será posible la realización de ensayos termográficos de forma ordenada de acuerdo a reglamentaciones específicas que garantizarán la calidad en las mediciones y criterios de interpretación.

6.2 Recomendaciones

El desarrollo del procedimiento en cuestión, sin duda abre la posibilidad de adentrar las labores universitarias de laboratorio al mundo de la normalización, sin embargo para asegurar la aplicación y seguimiento de los logros alcanzados es recomendable hacer revisiones periódicas del documento con la finalidad de evaluar su pertinencia y en su caso adecuarlo o modificarlo según las necesidades.

Es deseable la adquisición de por lo menos un cuerpo negro para la verificación interna de la cámara termográfica, así como una plancha de calentamiento con lector digital de temperatura y con certificado de calibración vigente, lo anterior con la finalidad de hacer estimaciones de emisividad más precisas.

Se recomienda localizar en lo demás laboratorios de la Universidad de Sonora ensayos con potencial demanda en sector industrial y/o de servicios y replicar la presente metodología, con la finalidad de incrementar actividades de vinculación pues lo anterior dará evidencia de competencia técnica de laboratorios y personal técnico.

7. BIBLIOGRAFIA

Newbrough, E.T., 1974. Administración de Mantenimiento Industrial Organización, Motivación y Control en el Mantenimiento Industrial. 1ª ed. Tlacoquemécatl, México 12, D.F.: Editorial Diana, S.A.

Dounce V. E., 1998. La productividad en el Mantenimiento Industrial. 2ª. ed. Delegación Azcapotzalco, México D.F.: Grupo Patricia Cultural, S.A de C.V.

Dharan, M., 1982. Control de Calidad en los Laboratorios Clínicos. 1ª ed. Loreto, 13-15, Local B, Barcelona: Editorial Reverte, S.A.

ISO (Organización Internacional de Normación), 2008. Norma Internacional ISO 9001: 2008- 7 Realización del Producto: Compras: Proceso de Compras. Ginebra: Secretaria de control ISO.

Marbán, R.M., Pellecer, J.A. 2002. Metrología para no-metrologos.2ª ed. Guatemala: OEA (Organización de los Estados Americanos).

Huang, F.F., 1992. Ingeniería Termodinámica Fundamentos y Aplicaciones. 6ª ed. Delegación Azcapotzalco, México D.F: Compañía Editorial Continental, S.A de C.V.

Relles, K.C., 2006. Termodinámica. 6ª ed. Naucalpan de Juárez, Edo. De México: Pearson Educación de México, S.A de C.V.

Bueche, F.J., 1991. Física General. 3ª ed. México: Ed. Mc Gran Hill.

Socconini, L., 2000. Lean Manufacturing. 2ª ed. México: Ed. Norma.

La radiación infrarroja en la vida diaria disponible en Internet en:

<http://www.iac.es/galería/hcastane/iso/05.htm>.

8. ANEXOS

Anexo I. Recomendaciones técnicas en inspecciones eléctricas con Termografía Infrarroja

Debido a que las aplicaciones de los ensayos termográficos contemplados en este trabajo son en su mayoría aplicaciones en componentes eléctricos, es pertinente describir algunas recomendaciones necesarias para la adecuada realización de dichos ensayos, como los criterios para determinar la severidad de daños de componentes eléctricos.

En la tabla 8.1 se muestran distintos conductores eléctricos tipo y su temperatura de operación, bajo norma existente para la fabricación de los conductores.

CLASIFICACION DE CONDUCTORES DE ACUERDO A SU AISLAMIENTO		
Clasificación de conductores con aislamiento termoplástico		
Tipo	Descripción	Temperatura de operación.
TW	Conductor con aislamiento de PVC resistente a la humedad y la propagación de incendio	60
THW	Conductor con aislamiento de PVC resistente a la humedad, al calor y la propagación de incendio	75
THW-LB	Conductor con aislamiento de PVC resistente a la humedad, al calor a la propagación de incendio de emisión reducida de humos y gas ácido	75
THWN	Conductor con aislamiento de PVC y cubierta de nylon resistente a la humedad, al calor a la propagación de la flama	75
THHW	Conductor con aislamiento de PVC resistente a la humedad, al calor a la propagación de flama.	75 en húmedo 90 en húmedo
THHW-LB	Conductor con aislamiento de PVC resistente a la humedad y la propagación de incendio, de emisión reducida de humos y gas ácido.	75 en húmedo 90 en húmedo
THHN	Conductor con aislamiento de PVC y cubierta de nylon, para instalarse solo. Resistente al calor y a la propagación de la flama.	90

Clasificación de conductores con aislamiento termofijo		
Tipo	Descripción	Temperatura de operación.
XHHW	Conductor con aislamiento de polietileno de cadena cruzada XLP, resistente a la presencia del agua y del calor.	75 seco y mojado 90 seco y adomo
XHHW-2	Conductor con aislamiento de polietileno de cadena cruzada XLP, resistente a la presencia de aguay al calor	90 seco y mojado
RHW	Conductor con aislamiento de polietileno de cadena cruzada XLP, a base de etileno propileo (EP), aislamiento combinado (de CP sobre EP) resistente a la presencia de agua y al calor. Los aislados con EP deben llevar cubierta termoplástico o termo fijo.	75 seco y mojado
RHW-2	Conductor con aislamiento de polietileno de cadena cruzada XLP, a base de etileno propileno (EP) o aislamiento combinado (de CP sobre EP) resistente a la presencia de agua y al calor. Los aislados con EP deben llevar cubierta termoplástico o termo fijo.	90 seco y mojado
RHH	Conductor con aislamiento de polietileno de cadena cruzada XLP, a base de etileno propileno (de Cp sobre EP) resistente a la presencia de agua y calor. Los aislados con EP deben llevar cubierta termostático o termo fijo.	90 seco y mojado

Tabla 8.1 Clasificación de conductores de acuerdo a su aislamiento.

Certificaciones y registros: MARCA NORVEN, ISO 9000, Underwriter Laboratories (U.L.-83), ANCE.

Especificaciones: NORVEN 397:2001, MJX-J-10, UL-83, NOM-063, NOM-001

Aplicaciones:

Para instalaciones en locales con ambiente seco, húmedo o en presencia de aceite, en conduit, ductos o bandejas.

Se recomienda para instalaciones en edificios públicos, cines, teatros, hoteles, centros comerciales, almacenes, centros de diversión, conjuntos multifamiliares, viviendas y aplicaciones industriales, en tableros y alimentadores.

Propiedades:

No propaga incendios, mínima emisión de humos densos y oscuros, mínima generación de gases tóxicos corrosivos. Su característica deslizante, reduce hasta 5 veces el esfuerzo de halar en tubos en tubos conduit o EMT, facilitando la instalación y evitando daños al aislamiento. Resistente al calor humedad, aceites, grasas y productos químicos.

Anexo II. Formato de reportes termográficos (ejemplo 1)

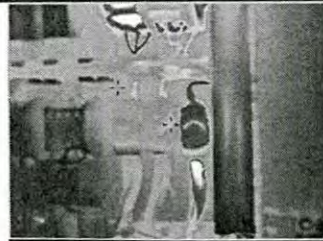


Universidad de Sonora

Servicio Social Universitario

Térmico doble en mufa residencial

**Problema: Térmico se bota con carga
menor a la máxima permitida**



Iglesia Bethel

Serbando Borbón

**Calle Obregón #508, San Ignacio,
Navojoa, Son.**

Tel. 6421058076

Anexo II. Continuación....

Imagen de térmico principal (70 A)

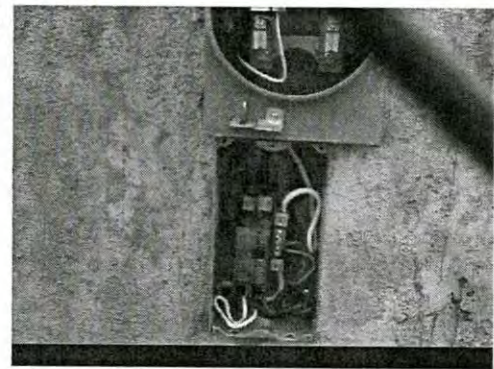
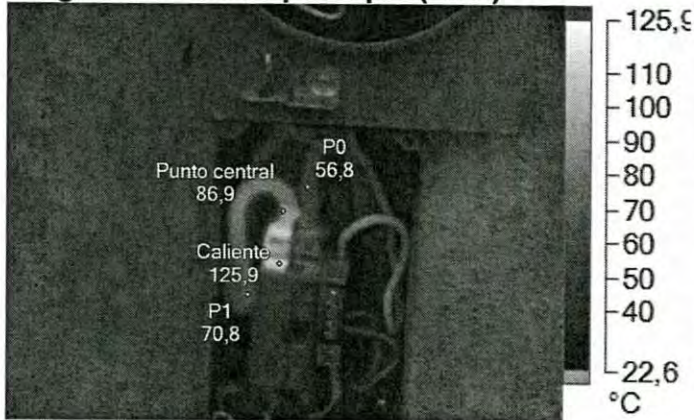


Imagen de luz visible

IR000190.IS2

24/07/2012 7:52:21

Se recibió solicitud de diagnostico de problema de tablero eléctrico.

Observa una diferencia de 30°C entre Fase 1 (Punto Caliente) y la Fase 2 (P0). Anormal.

El comportamiento térmico del calor en fase 1 nace en el térmico (Caliente) con 136.3°C y va enfriando a 70.8 en P1.

Lo anterior evidencia una mala conexión (floja o muy ajustada) en fase 1 ó posible daño de contactos internos del térmico a juzgar por la temperatura poco alta (57.4°C) de la fase 2.

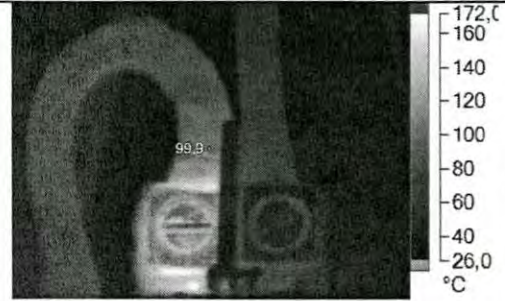
Recomendaaaciones:

- 1 Recortar parte sobrecalentada de fase 1 y conectar con ajuste firme no excesivo al térmico.
- 2 Tomar imagen térmica de nuevo con carga máxima.
- 3 Si el problema persiste cambie el térmico.

Marcadores de la imagen principal

Nombre	Temperatura	Emisividad	Segundo plano
Punto central	86,9°C	0,95	36,0°C
Caliente	125,9°C	0,95	36,0°C
P0	56,8°C	0,95	36,0°C
P1	70,8°C	0,95	36,0°C

Anexo II. Continuación...



IR000186.IS2

Información de la imagen

Temperatura de fondo	36,0°C
Emisividad	0,95
Temperatura promedio	28,5°C
Rango de la imagen	22,6°C a 125,9°C
Modelo de cámara	Ti10
Número de serie de la cámara	Ti10-10090366
Versión DSP	1.3.5
Versión OCA	1.3.5.0
Fabricante	Fluke
Descripción de la lente	20mm
Número de serie de la lente	-
Ubicación del archivo	C:\ Users\ Public\ Pictures\ Imagenes termicas\ IR000190.IS2
Rango de calibración	-25,0°C a 260,0°C

Resumen

Las capacidades de elementos eléctricos son suficientes para la carga instalada, sin embargo:

Se encontró un patrón anormal de calentamiento de fase 1 atribuible a: mala conexión y/o contactos internos de térmicos con falso, se recomendó recortar y reconectar cable fase1 y tomar de nuevo imagen térmica con carga máxima, si persiste calentamiento se deberá sustituir térmico, lo anterior debido a que se alcanza a escuchar un cliqueo de arco eléctrico interno en el térmico de 100 A (marca SD).

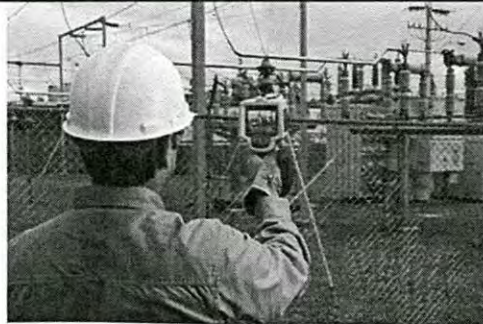
Anexo III. Formato de reportes termográficos (ejemplo 2)



UNIVERSIDAD DE SONORA
CISMA

Interruptor de Molino1 de harina Empresas SDOS S.A. de C.V.

Problema: Se bota el térmico con carga normal del molino



Preparado para:

EMPRESAS SDOS S.A DE C.V

FIDENSIO BUENO

Carretera Internacional # 171, Navojoa, Sonora.

Tel. (642) 422-4450

Anexo III. Continuación...

Interruptor de Molino1 de harina Empresas SDOS S.A. de C.V.

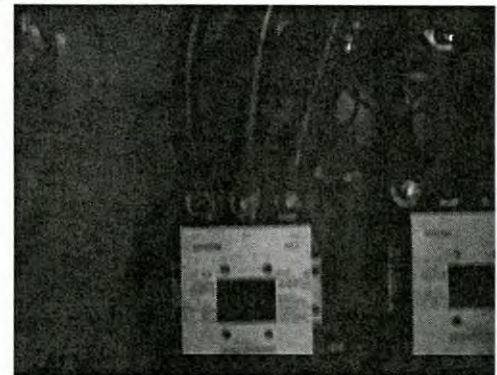
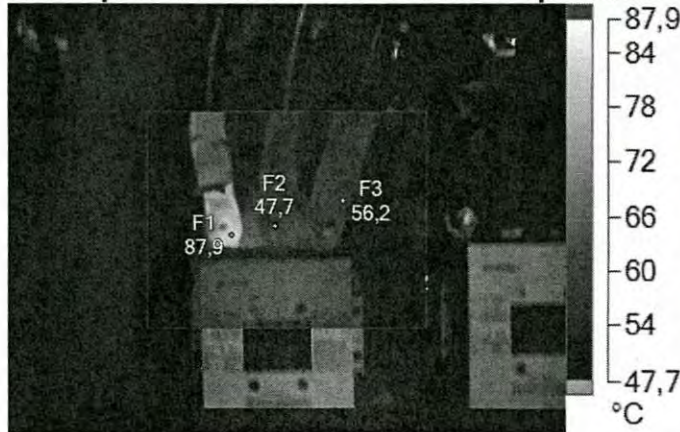


Imagen de luz visible

IR001672.IS2

11/06/2012 9:55:51

Se puede observar una diferencia muy marcada entre las fases 2 y 3 con la fase 1, La Fase 1 esta 40°C arriba que las fase 2.

Lo anterior merece atención inmediata, debe aplicarse acción correctiva a brevedad, que contemple el recorte de cable de fase 1 (se ve muy degradado el forro, reseco) y reconectar, dando un ajuste normal.

Marcadores de la imagen principal

Nombre	Temperatura	Emisividad	Segundo plano
F1	87,9°C	0,95	36,0°C
F2	47,7°C	0,95	36,0°C
F3	56,2°C	0,95	36,0°C

Información de la imagen

Temperatura de fondo	36,0°C
Emisividad	0,95
Transmisión	1,00
Temperatura promedio	54,7°C

Resumen

Se concluye que existe evidencia suficiente para generar una orden de mantenimiento correctivo inmediato, pues se corre el riesgo inminente de dañar el interruptor y/o una sección mayor de cable. Es recomendable también asegurar un balanceo de carga adecuado en las fases y de existir desbalanceo es recomendable poner la fase con menor carga en la sección dañada.