



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**GUÍA PRÁCTICA DE TERMOGRAFÍA PARA EL CURSO DE
MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO**

JORGE GUILLERMO RUANO SOPÓN

Asesorado Por Ing. Fredy Monroy

Guatemala, enero de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA PRÁCTICA DE TERMOGRAFÍA PARA EL CURSO DE MONTAJE Y
MANTENIMIENTO DE EQUIPO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE GUILLERMO RUANO SOPÓN

Asesorado por **Ing. Fredy Monroy**

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, enero de 2005

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**GUÍA PRÁCTICA DE TERMOGRAFÍA PARA EL CURSO DE MONTAJE Y
MANTENIMIENTO DE EQUIPO**

Tema que me fue aprobado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 14 de mayo de 2004.

JORGE GUILLERMO RUANO SOPÓN

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|-------------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| VOCAL I | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL II | Lic. Amahán Sánchez Álvarez |
| VOCAL III | Ing. Julio David Galicia Celada |
| VOCAL IV | Br. Keneth Issur Estrada Ruiz |
| VOCAL V | Br. Elisa Yazminda Vides Leiva |
| SECRETARIO | Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| EXAMINADOR | Ing. Erik René Guerrero Silva |
| EXAMINADOR | Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta |
| EXAMINADOR | Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda |
| SECRETARIO | Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez |

ACTO QUE DEDICO

- **A DIOS**

Por ser el guía y la luz que ilumina mi camino y darme la fuerza para seguir adelante.

- **A MIS PADRES**

Jorge Luis Ruano Castañeda y Ruth Claribel De Ruano, como un reconocimiento por todo su amor e incondicional ayuda en todo momento.

- **A MIS HERMANOS**

Luis Alfredo Ruano Sopón y Ruth Dalila Ruano Sopón, por su apoyo y comprensión durante toda mi carrera estudiantil.

- **A MIS ABUELOS**

Guillermo Sopón Hidalgo y Eloisa Monzón, por los sacrificios realizados que permitieron mi formación, por el apoyo incondicional y confianza; a ellos con profundo amor y agradecimiento.

- **A MIS TÍOS**

Ángel Arrivillaga, Leticia de Arrivillaga, Hugo Roberto Aguilar y Gloria de Aguilar; como una muestra de amor hacia ellos.

AGRADECIMIENTOS

A

ING. FREDY MONROY

Por el apoyo brindado y tiempo
en el desarrollo de este trabajo.

FACULTAD DE INGENIERÍA

Mi profundo agradecimiento.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| GLOSARIO..... | VII |
| RESUMEN..... | XI |
| OBJETIVOS..... | XIII |
| INTRODUCCIÓN..... | XV |
| | |
| 1. MARCO TEÓRICO..... | 1 |
| 1.1 Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 Uso de termografía en Guatemala..... | 2 |
| 1.3 Importancia de la termografía..... | 3 |
| | |
| 2. MANTENIMIENTO..... | 5 |
| 2.1 Definición..... | 5 |
| 2.2 Tipos de mantenimiento..... | 6 |
| 2.2.1 Mantenimiento preventivo..... | 6 |
| 2.2.1.1 Ventajas del mantenimiento preventivo por termovisión..... | 10 |
| 2.2.2 Mantenimiento predictivo..... | 10 |
| 2.2.3 Estrategias de mantenimiento predictivo en Guatemala..... | 11 |
| 2.2.3.1 Análisis de vibraciones..... | 11 |
| 2.2.3.2 Análisis de energía..... | 12 |
| 2.2.3.3 Alineación y balanceo dinámico..... | 13 |
| 2.2.3.5 Análisis de aceites..... | 14 |
| 2.2.3.5.1 Análisis de aceites dieléctricos..... | 14 |
| 2.2.3.5.2 Análisis cromatográfico de gases..... | 15 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 2.2.3.5.3 | Análisis cromatográfico de compuestos furánicos..... | 15 |
| 2.2.4 | Mantenimiento correctivo..... | 16 |
| 2.2.5 | Mantenimiento proactivo..... | 17 |
| 2.2.6 | Mantenimiento productivo total o TPM..... | 18 |
| 2.2.6.1 | Objetivos..... | 19 |
| 2.2.6.2 | Características..... | 20 |
| 2.2.6.3 | Beneficios del TPM..... | 21 |
| 2.3 | Ventajas del uso de mantenimiento..... | 22 |
| 2.4 | Índices de clase mundial para el mantenimiento..... | 23 |
| 2.4.1 | Tiempo medio entre fallas..... | 23 |
| 2.4.2 | Tiempo medio para reparación..... | 24 |
| 2.4.3 | Tiempo medio para la falla..... | 24 |
| 2.4.4 | Disponibilidad de equipos..... | 25 |
| 2.4.4.1 | Costo de mantenimiento por facturación..... | 27 |
| 2.4.4.2 | Costo de mantenimiento por el valor de reposición..... | 27 |
| 2.4.5 | Gestión de equipos..... | 28 |
| 2.4.5.1 | Tiempo medio entre mantenimientos preventivos..... | 28 |
| 2.4.5.2 | Tiempo medio para intervenciones preventivas..... | 28 |
| 2.4.5.3 | Tasa de falla observada..... | 28 |
| 2.4.5.4 | Componentes del costo de mantenimiento..... | 29 |
| 3. | TERMOGRAFÍA..... | 31 |
| 3.1 | Historia de la termografía..... | 31 |
| 3.1.1 | Descubrimiento de los rayos infrarrojos..... | 31 |
| 3.1.2 | Rayos infrarrojos..... | 32 |
| 3.1.2.1 | Física del infrarrojo..... | 33 |
| 3.1.3 | Espectro..... | 35 |
| 3.1.4 | Frecuencia natural..... | 38 |
| 3.2 | Definición de termografía..... | 38 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.2.1 | Conducción..... | 39 |
| 3.2.2 | Convección..... | 40 |
| 3.2.3 | Radiación..... | 42 |
| 3.2.4 | ¿Por qué usar infrarrojo?..... | 47 |
| 3.3 | Usos, ventajas Y desventajas de la termografía..... | 48 |
| 3.3.1 | Beneficio del uso de la termografía..... | 49 |
| 4. | APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA..... | 51 |
| 4.1 | Los campos de actuación..... | 51 |
| 4.2 | Termografía infrarroja aplicada al mantenimiento industrial..... | 52 |
| 4.3 | Termografía aplicada a instalaciones de generación y distribución de energía eléctrica..... | 54 |
| 4.4 | Termografía aplicada a la construcción..... | 55 |
| 4.5 | Termografía aplicada a la industria de procesos..... | 56 |
| 5. | ESTUDIO DE TERMOGRAFÍA A SISTEMAS ELÉCTRICOS..... | 57 |
| 5.1 | Consideraciones de las inspecciones térmicas..... | 57 |
| 5.2 | Peligrosidad en instalaciones eléctricas..... | 59 |
| 5.3 | Sistema A. <i>Echotherm</i> | 60 |
| 5.4 | Sistema B. <i>Thermo Scope</i> | 62 |
| 5.5 | Sistema <i>Thermagram</i> | 64 |
| 5.6 | Instrumentación de termografía..... | 64 |
| 5.6.1 | Mesa de detectores de infrarrojos..... | 64 |
| 5.6.2 | Termómetros diferenciales de precisión..... | 65 |
| 5.6.3 | Termómetros infrarrojos portátiles para diagnósticos y solución de problemas..... | 66 |
| 5.6.3.1 | <i>Mini Temp.</i> | 66 |
| 5.6.3.2 | Serie ST..... | 66 |
| 5.6.3.3 | Serie MX..... | 66 |

| | | |
|----------------------|--|----|
| 5.6.3.4 | Serie 3I..... | 67 |
| 5.7 | Ventanas infrarrojas..... | 67 |
| 5.7.1 | Aplicaciones..... | 69 |
| 5.7.2 | Ventajas..... | 69 |
| 5.8 | Cámaras de termografía..... | 70 |
| 5.8.1 | Funcionamiento de las cámaras infrarrojas..... | 71 |
| 5.8.2 | Cámaras Merlin..... | 71 |
| 5.8.3 | Adquisición y análisis de datos radiométricos en tiempo real..... | 73 |
| 5.9 | Estudio de termografía a un sistema eléctrico..... | 77 |
| 5.9.1 | Equipo eléctrico..... | 77 |
| 5.9.2 | Encargado de mediciones termográficas..... | 77 |
| 5.9.3 | Factores para mediciones correctas de temperaturas con termografía..... | 78 |
| 5.9.3.1 | Tres ajustes claves..... | 78 |
| 5.9.3.2 | Cuatro factores críticos..... | 78 |
| 5.9.4 | Meta de inspección..... | 79 |
| 5.9.4.1 | Las fichas de inspección..... | 80 |
| 5.9.4.2 | Reporte de resultados de los análisis termográficos..... | 80 |
| 5.9.4.3 | <i>Software Irwin Report</i> | 80 |
| 5.9.5 | Parámetros y Guías..... | 81 |
| 5.9.5.1 | Niveles de acción para el equipo eléctrico..... | 81 |
| 5.9.5.2 | Procedimiento operativo..... | 82 |
| 5.9.5.3 | Cámara termográfica utilizada para este estudio... | 84 |
| CONCLUSIONES..... | | 91 |
| RECOMENDACIONES..... | | 93 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 95 |
| ANEXOS..... | | 97 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Efecto del prisma..... | 34 |
| 2. | Observaciones de <i>Herschel</i> | 35 |
| 3. | Diferencia entre conducción, convección y radiación..... | 45 |
| 4. | Efecto del espectro electromagnético..... | 46 |
| 5. | Termograma de una chimenea..... | 51 |
| 6. | Termograma de red de distribución eléctrica..... | 54 |
| 7. | Termograma de recipiente sometido a alta presión..... | 55 |
| 8. | Termograma de motor eléctrico..... | 56 |
| 9. | Sistema <i>Echotherm</i> | 61 |
| 10. | Termograma de soldadura por puntos..... | 61 |
| 11. | Sistema integrado de lámparas y <i>flash</i> de calentamiento..... | 62 |
| 12. | Mesa de detección termográfica..... | 64 |
| 13. | Termómetro diferencial de precisión..... | 65 |
| 14. | Cámara Merlín..... | 73 |
| 15. | Esquema del infrarrojo de las cámaras de termografía..... | 75 |
| 16. | Diferentes tipos de cámaras termográficas..... | 76 |
| 17. | <i>Thermacam PM 595</i> | 85 |
| 18. | Partes de un termograma..... | 86 |
| 19. | Termograma realizado al tablero de compresores con un punto..... | 87 |
| 20. | Termograma realizado al tablero de compresores con diferencia de puntos..... | 88 |
| 21. | Termograma realizado a una impresora Invemo..... | 89 |

GLOSARIO

Alcohol

metílico

El alcohol de madera, alcohol metílico o metanol, de fórmula CH_3OH , es el más simple de los alcoholes. Antes se preparaba por destilación destructiva de la madera, pero hoy en día casi todo el metanol producido es de origen sintético, elaborado a partir de hidrógeno y monóxido de carbono. El metanol se utiliza para desnaturalizar alcohol etílico, como anticongelante, disolvente para gomas y lacas, así como en la síntesis de compuestos orgánicos como el metanol (formaldehído). Al ser ingerido en forma líquida o inhalado en vapor, el metanol puede resultar peligroso. Tiene un punto de fusión de $-97.8\text{ }^\circ\text{C}$ y un punto de ebullición de $64.7\text{ }^\circ\text{C}$. Su densidad relativa es de 0.7915 a $20\text{ }^\circ\text{C}$.

ASTM

American Society Testing Materials (Sociedad Americana de Comprobación de Materiales).

Bolómetro

Instrumento utilizado para medir pequeñas cantidades de energía radiante en el rango del espectro comprendido entre las ondas luminosas y las microondas. Lo inventó, en 1860, el ingeniero y científico estadounidense Samuel Pierpont Langley, y en la actualidad se utiliza, principalmente, para detectar la energía que irradian fuentes lejanas en forma de calor.

Control

refractario

Es la supervisión de un cuerpo que resiste la acción del fuego sin cambiar de estado ni descomponerse. Un ejemplo claro de un cuerpo refractario es la arcilla.

| | |
|-----------------------|---|
| Cromatografía | Técnica de análisis químico utilizada para separar sustancias puras de mezclas complejas. Esta técnica depende del principio de adsorción selectiva. |
| Cero absoluto | La menor temperatura teóricamente posible. El cero absoluto corresponde a $-273,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, o cero en la escala termodinámica o Kelvin (0 K). El concepto de cero absoluto también es importante desde el punto de vista teórico. Según la tercera ley de la termodinámica, la entropía –o desorden- de un cristal puro sería nula en el cero absoluto. Los materiales presentan propiedades extrañas cuando se enfrían a temperaturas muy bajas, algunos pierden por completo su resistencia eléctrica. |
| Espectrografía | Es el estudio de los espectrogramas, que son una fotografía, inscripción o diagrama de un espectro luminoso o acústico. |
| Emisividad | Capacidad de un material para emitir energía radiante. |
| Luz negra | Término habitualmente aplicado a la radiación que bordea la región visible del espectro electromagnético. La luz negra incluye la radiación ultravioleta de mayor longitud de onda y los rayos infrarrojos de menor longitud de onda que limitan con la luz visible, pero el término suele emplearse sobre todo en el primer caso. |

| | |
|---------------------------|--|
| <i>Outsourcing</i> | Significa que otras organizaciones presten un servicio necesario o fabriquen partes de un producto. La producción es la función para la que más se recurre al <i>outsourcing</i> y así la compañía puede cambiar de proveedor siempre que sea necesario, según sus propias necesidades. |
| Radiación | Proceso de transmisión de ondas o partículas a través del espacio o de algún medio; el término también se emplea para las propias ondas o partículas. Estas tienen muchas características comunes; no obstante, la radiación suele producirse predominantemente en una de las dos formas. |
| Rayos X | Radiación electromagnética penetrante con una longitud de onda menor que la luz visible, producida bombardeando un blanco, generalmente de <i>wolframio</i> , con electrones de alta velocidad. Los rayos X fueron descubiertos de forma accidental en 1895 por el físico alemán Wilhelm Conrad Roentgen, mientras estudiaba los rayos catódicos en un tubo de descarga gaseosa de alto voltaje. |
| Rayos <i>gamma</i> | Radiación electromagnética de altas energías asociada a la radiactividad. Los rayos <i>gamma</i> (fotones de alta energía) son emitidos por el núcleo de un átomo tras sufrir una desintegración radiactiva. La energía del rayo <i>gamma</i> (generalmente similar a la de los rayos X de alta energía) corresponde a la diferencia de energías. |

| | |
|---------------------------|--|
| Rango | Conjunto de valores comprendido entre un valor mínimo y un valor máximo determinados. La comprobación de rangos es un método importante de validación de los datos introducidos en una aplicación. |
| Spo | En termografía se define como un punto que puede ser frío o caliente |
| Teledetección | Técnica empleada para obtener información a distancia sobre objetos y zonas de la superficie de la Tierra, basada fundamentalmente en el análisis de las imágenes obtenidas desde aeronaves y satélites preparados para ello. Las cámaras y otros instrumentos que registran esta información se denominan sensores, que son transportados en aviones y satélites artificiales. |
| Ultrasonido pasivo | Técnica de diagnóstico en la que un sonido de frecuencia muy alta es dirigido hacia un cuerpo en estudio; también se conoce como ecografía. Las interfases tisulares reflejan el sonido, y el patrón de reflexión del sonido resultante es digitalizado para producir una imagen móvil en una pantalla o una fotografía. |
| Vibración | En física, química e ingeniería, movimiento repetido de un lado a otro en torno a una posición central, o posición de equilibrio. El recorrido que consiste en ir desde una posición extrema a la otra y volver a la primera, pasando dos veces por la posición central, se denomina ciclo. El número de ciclos por segundo, o Hertz (Hz), se conoce como frecuencia de la oscilación. |

RESUMEN

La termografía es el uso de una cámara infrarroja para captar y medir la energía térmica emitida por un objeto. Las cámaras infrarrojas ven lo que los ojos humanos no pueden ver, debido a que la energía infrarroja es un rango de luz no visible ya que su longitud de onda es demasiado extensa para ser detectada por el ojo humano, el cual sólo detecta onda corta.

Las cámaras infrarrojas son capaces de proporcionar toda la información de temperaturas para un objeto analizado, tomando en cuenta el medio ambiente que lo rodea. Luego, por medio de un *software* especial, se procesa toda la información detallada acerca del estudio realizado.

La técnica de la termografía es utilizada en un tipo de mantenimiento llamado “predictivo”, el cual consiste en predecir los problemas antes de que estos sucedan. Por medio de la termografía pueden obtenerse las temperaturas en tiempo real. El tiempo real se refiere a realizar la toma justo en el instante en el cual está pasando. Se dice que todas las máquinas antes de fallar tienden a calentarse, es por ello que las cámaras de termografía son una herramienta irremplazable.

Todo lo que está arriba del cero absoluto emite calor, es por ello que la termografía infrarroja tiene una variedad de aplicaciones. En este caso, se limitó a la aplicación en el área industrial. En esta área puede observarse el equipo eléctrico, equipo mecánico, estructuras, tanques. Este estudio se realizó en una industria guatemalteca y se analizó el equipo eléctrico del cuarto de mando principal.

El estudio fue realizado durante dos meses en los cuales se hicieron tres visitas periódicas para así darle un seguimiento del estado en el cual se encontraba el equipo. Durante el tercer análisis realizado se comprobó la disminución de temperaturas en los equipos diagnosticados y se detectó así el problema a tiempo.

OBJETIVOS

- **General**

Redactar un manual para el eficiente uso de la termografía en el mantenimiento, de manera que sea fácil de comprender y aplicar, atendiendo a las necesidades de las empresas que hacen uso de esta tecnología.

- **Específicos**

1. Determinar la importancia de la termografía en el mantenimiento predictivo.
2. Determinar las ventajas y los beneficios del uso de la termografía en el mantenimiento.
3. Proporcionar el conocimiento de los diferentes tipos de instrumentos para el uso de termografía.
4. Dar a conocer diferentes tipos de termogramas para el entendimiento práctico y aplicado de la termografía en diferentes campos de la industria.

INTRODUCCIÓN

Debido a la buena cantidad de empresas que cada día requieren de una mejor optimización de sus equipos e instalaciones, se debe implantar un mejor mantenimiento predictivo y preventivo ayudado de tecnologías que sean eficientes como la termografía.

La termografía es un proceso por el cual se crea un termograma o registro bidimensional que utiliza un sistema de adquisición de imágenes infrarrojas. Este termograma muestra el mapa de las temperaturas de la escena que está siendo enfocada. En la actualidad, la termografía es una herramienta importantísima del mantenimiento predictivo al igual que el análisis de vibraciones.

El mantenimiento predictivo es también llamado mantenimiento previsorio o control predictivo del mantenimiento, tiene como objetivo ejecutar el mantenimiento preventivo en equipos en el momento exacto en que éstos interfieren en la confiabilidad del sistema.

A pesar de que el uso de la termografía al principio es una inversión muy elevada, con el tiempo tiende a mejorar la eficiencia y eficacia de el mantenimiento en la empresa, con lo cual compensa su costo inicial, ya que tiene varios beneficios entre los cuales podríamos mencionar: localizar problemas potenciales, evitar gastos de reparaciones, identificación plena de problemas y estatus de los mismos, así como la disminución de costos de reparaciones urgentes.

La termografía de infrarrojos es considerada como una de las técnicas predictivas más eficaces en el mantenimiento tanto de equipos fijos como móviles. Mediante termografía puede realizarse la localización, análisis y seguimiento de: puntos calientes en instalaciones eléctricas (redes de distribución eléctrica, subestaciones, cuadros, etc).

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

La aplicación industrial de la termografía infrarroja es posterior a los años setenta, sin embargo, su uso en los diversos campos de la ingeniería es muy extenso actualmente.

Esta técnica de producir imágenes a partir de la radiación térmica que emiten los objetos, utilizando sistemas analíticos que permitan la corrección de todas las condiciones del entorno y la realización de medidas en tiempo real, es muy apropiada para las tareas de mantenimiento su papel es cada día más importante.

Desde que en 1965 se comercializó el primer sistema de termografía de infrarrojos, esta técnica ha encontrado innumerables aplicaciones en la industria.

Frente a otros métodos de medida de la temperatura, presenta ventajas como las que se describen a continuación:

Medición a distancia, sin contacto físico, que permite la realización de mediciones en puntos inaccesibles (alta tensión, ambientes de alta temperatura, objetos en movimiento, etc.).

La información obtenida es un mapa térmico de la distribución de temperaturas del objeto en estudio. Todas las aplicaciones posibles se derivan del conocimiento de esta información.

No modifica las condiciones del proceso, medida instantánea, sin inercia térmica, amplio rango de temperaturas, excelente resolución (0.1°C) y proceso por computadora.

1.2 Uso de termografía en Guatemala

La termografía se ha usado como la parte de una condición que supervisa las estrategias de mantenimiento predictivo durante muchos años. Primero, la generación de las cámaras termales usó nitrógeno líquido o las cámaras refrescadas con los sistemas de refrigeración complejos.

La gran mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial, ya sea de tipo mecánico y eléctrico y de fabricación, fallan por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistema de termo visión por infrarrojos.

Con la implementación de programas de inspecciones termográficas en instalaciones, maquinaria, cuadros eléctricos, etc., es posible minimizar el riesgo de una falla de equipos y sus consecuencias, a la vez que ofrece una herramienta para el control de calidad de las reparaciones afectadas.

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

1.3 Importancia de la termografía

Durante los últimos quince años, la termografía de rayos infrarrojos ha ganado aceptación como la manera de inspeccionar los sistemas de circuitos para saber si existen conexiones flojas o cualquier otra condición peligrosa o antieconómica. Esta es una aplicación no comprobada y lo que la mayoría de proveedores de servicios de esta tecnología hacen para ganarse la vida. Sin embargo, la mayoría de nosotros sabemos que hay muchos usos dentro de la termografía de rayos infrarrojos.

A manera de discusión, digamos que existe una planta que opera las 24 horas del día, siete días a la semana y nunca ha realizado una encuesta infrarroja, y como resultado sufre fallas el 3% del tiempo.

Un termógrafo motivado e inteligente establece un programa de inspecciones de mantenimiento de diagnóstico a base de tecnología infrarroja, la gerencia y el personal de mantenimiento apoyan totalmente el programa y resulta ser todo un éxito, el tiempo útil de producción sube del 97% al 99.5%. Esto representa una enorme cantidad de dinero, los ahorros económicos se calculan en \$400,000 por año.

La misma planta tiene 20 unidades de maquinaria, cada una produce anualmente 100,000 artefactos mecánicos. Un ingeniero de producción convence al termógrafo de que invierta varios días de su valioso tiempo verificando la máquina #12, trabajan juntos y encuentran y resuelven algunos problemas. La máquina #12 produce ahora 10% de mayor rapidez con un 10% de desperdicio, los ahorros económicos son de \$4,000,000 los cuales representan 10 veces más la cantidad ahorrada, al usar el programa de inspección infrarroja, simplemente hay más ahorros económicos en el área de equipos de producción.

2. MANTENIMIENTO

2.1 Definición

El mantenimiento es la serie de trabajos que hay que ejecutar en algún equipo, planta o método, a fin de conservarlo y que provea el servicio para el cual fue diseñado.

El objetivo del mantenimiento es la conservación, ante todo, del servicio que están suministrando los equipos, instalaciones, etc. Para el administrador, el objetivo del mantenimiento es la conservación, ante todo, del servicio que están suministrando los equipos, instalaciones, etc. Por tal motivo se deben equilibrar, en las labores del mantenimiento, los factores esenciales siguientes: a) calidad económica del servicio; b) duración adecuada del equipo, y c) costos mínimos de mantenimiento.

Desde el punto de vista de costo, estos tres factores dan a conocer que existe un costo total de servicio, el cual resulta de:

- Costo inicial del equipo considerando su depreciación,
- Costo de mantenimiento considerando su incremento, y
- Costo de falta de servicio.

La adquisición de equipo nuevo acarrea costos elevados, sobre todo que inicialmente su depreciación es acelerada, aunque esto se compensa por ser los costos de mantenimiento bajos, pues la expectativa de falla es menor.

Conforme se envejece el equipo, sus componentes se desgastan, aumenta la frecuencia de falla y, como consecuencia, los gastos de mantenimiento son mayores.

Un aumento de la frecuencia de falta de servicio por fallas causa pérdidas en el ingreso que origina la prestación del mismo, de tal manera que el costo total aumenta tanto que hace prohibitivo el uso del equipo.

2.2 Tipos de mantenimiento

En la industria se ha destacado principalmente tres clases de mantenimiento, de una forma general podemos destacar los siguientes tipos: mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo y mantenimiento correctivo.

2.2.1 Mantenimiento preventivo

Se define como la conservación planeada, teniendo como función conocer sistemáticamente el estado de máquinas e instalaciones para programar en los momentos más oportunos y de menos impacto en la producción, las acciones que trataran de eliminar las fallas que originan las interrupciones.

Un programa de mantenimiento preventivo, en la acción de mantener en buen estado el equipo, se realiza a través de las visitas, revisiones, lubricación periódica y limpieza.

2.2.1.1 Visitas

Son inspecciones o verificaciones que se ejecutan periódicamente en las instalaciones y máquinas para comprobar su estado. Para ser considerada como tales, las visitas deben: a) verificar las inspecciones en el lugar de trabajo; b) ser rápidas; c) no desarmar elementos de máquinas complejos; d) realizar pequeñas reparaciones, y e) utilizar en lo posible métodos no destructivos.

2.2.1.2 Revisiones

Son intervenciones que se realizan en las máquinas para detectar o confirmar las anomalías localizadas durante la visita previa. Para ser consideradas como tales, deben:

- a) desmontar partes de las máquinas o instalaciones cuando, por consecuencia de la visita previa, se detecta la posibilidad de existencia de anomalías;
- b) reparar las anomalías encontradas, y
- c) sustituir piezas sujetas a desgaste rápido.

2.2.1.3 Lubricación periódica

Es una de las actividades más importantes en el mantenimiento preventivo. La vida útil del equipo depende en gran parte de una correcta lubricación, pues un alto porcentaje de fallas son consecuencia de lubricación defectuosa.

La planificación de la lubricación parte de la información dada por el fabricante de los equipos en cuanto la localización de puntos que necesitan lubricante, periodicidad de aplicación, cambio y limpieza, tipo de lubricante, viscosidad de los mismos, etc. Con estos datos y de acuerdo a las condiciones de trabajo, se procede a la normalización de los lubricantes.

El disponer en una instalación industrial de todos los aceites y grasas recomendados por los fabricantes de los equipos, llevaría a tener una existencia muy grande y variada, con el consiguiente encarecimiento de operaciones y dificultad de adquisición. Para proceder a la normalización se tabularán las propiedades de los lubricantes requeridos como:

- Características (densidad, viscosidad, índice de goteo, etc.)
- Denominación comercial.
- Indicaciones de utilización.
- Contraindicaciones.

Con estos datos se efectúa una comparación con los lubricantes existentes para elegir los más idóneos. El número aconsejable de aceites a tener en una instalación industrial es de 8 a 10 y de 2 a 4 grasas.

Al tener normalizados y clasificados los lubricantes se procede a elaborar las fichas de lubricación, las cuales deben constar de: a) croquis de la máquina, con las vistas suficientes para identificar los puntos de aplicación, niveles, etc; b) información de la frecuencia de aplicación en cada punto, tipo de lubricante a emplear, limpieza de depósitos y renovación, etc.

El personal que ejecuta las tareas de lubricación será instruido concretamente en el conocimiento de técnicas de aplicación, tipos de lubricantes, herramienta y accesorios relacionados con esta actividad (aceiteras, graseras, bombas manuales, extensiones, etc.)

Las operaciones de lubricación se deben cumplir de acuerdo a la planificación previa, no permitiendo aplazamientos de ninguna clase.

2.2.1.4 Limpieza

Son las acciones que incluyen actividades de limpieza, conservación, señalización, acondicionamiento cromático y prevención contra la corrosión. Se excluyen de esta actividad la limpieza de depósitos de lubricantes, por estar considerados dentro de las atribuciones de la lubricación.

Las actividades de limpieza se agrupan en:

- a) Limpieza de máquinas: la limpieza externa o superficial la efectuará el operario de la máquina al final de la jornada, pero superficies de deslizamiento y lugares de difícil acceso o en los que sea preciso desmontar componentes serán efectuadas por el personal de mantenimiento.
- b) Limpieza de instalaciones: fundamental para efectos de seguridad y rendimiento, especialmente en los recintos de materiales contaminantes (productos químicos, combustibles, lubricantes, pinturas, etc.).
- c) Conservación de edificios: agrupa todas aquellas actividades relacionadas con la conservación de los edificios como el cambio de vidrios rotos, bombillas y tubos en las lámparas, pintura en paredes, etc. Por su naturaleza, estas actividades son aleatorias, es decir, no pueden efectuarse sistemáticamente sino como resultado de las visitas.
- d) Señalización y condicionamiento cromático: en este grupo de actividades se incluyen la delimitación de zonas de tránsito y depósito, para el efecto se pintan en el suelo las señales correspondientes (pinturas anticorrosivas, soluciones asfálticas, barnices, etc.).

2.2.1.5 Ventajas del mantenimiento preventivo por termovisión

- Método de análisis sin detención de procesos productivos, ahorra gastos.
- Baja peligrosidad para el operario por evitar la necesidad de contacto con el equipo.
- Determinación exacta de puntos deficientes en una línea de proceso.
- El tiempo de reparación por la localización precisa de la falla.
- Facilita informes muy precisos al personal de mantenimiento.
- Ayuda al seguimiento de las reparaciones previas.

2.2.2 Mantenimiento predictivo

Es también llamado mantenimiento previsorio o control predictivo del mantenimiento. Tiene como objetivo ejecutar el mantenimiento preventivo en equipos en el momento exacto, en que estos interfieren en la confiabilidad del sistema. Desde otro punto de vista, también podemos decir que el mantenimiento predictivo es la determinación del punto óptimo para la ejecución del mantenimiento preventivo en un equipo, esto es, el punto a partir del cual la probabilidad que el equipo falle, asume valores indeseables.

Los estudios de determinación de ese punto, que es llamado punto predictivo, se realiza de dos formas, en función de las características de los equipos: 1. Análisis estadístico, y 2. Análisis de síntomas. Este tipo de mantenimiento produce los siguientes logros: a) La minimización de los costos de mantenimiento preventivo y correctivo. b) La maximización de la eficiencia del mantenimiento.

El Mantenimiento predictivo (PM), proporciona la evidencia vital para permitir tomar las decisiones y pasos para prevenir el éxito o fracaso de un proceso industrial.

La termografía de infrarrojos es considerada como una de las técnicas predictivasmáseficaces en el mantenimiento tanto de equipos fijos como móviles. Mediante termografía puede realizarse la localización, análisis y seguimiento de: puntos calientes en instalaciones eléctricas (líneas, subestaciones, cuadros, etc.) de A4 BT.

Caídas y desgastes de refractario en hornos (vidrio, cemento, cerámica, fundición, etc.), reactores, chimeneas, etc.

Defectos de aislamientos en tuberías calorifugadas, cámaras frigoríficas, secaderos, edificios, etc.

Fugas de agua y otros termo fluidos de conductos subterráneos o empotrados en paredes o techos. Zonas defectuosamente lubricadas en bombas, compresores, generadores, etc.

2.2.3 Estrategias de mantenimiento predictivo en Guatemala

2.2.3.1 Análisis de vibraciones

Consiste en separar las vibraciones por frecuencia. De esta forma se puede determinar si existen niveles peligrosos de vibración, además de establecer la causa u origen de éstos. A través del análisis de vibraciones se puede determinar el régimen de funcionamiento de los equipos rotativos.

Por ejemplo, se puede determinar si una máquina está desbalanceada, desalineada, tiene problemas de cojinetes averiados, etc. El programa de inspecciones de análisis vibracional se realiza con uno de los equipos más avanzados, entre ellos el vibrotest 60, de compañías europeas, el cual permite realizar una identificación precisa del estado de la máquina y de sus fallos, prevención de paradas de producción no programadas extensión de intervalos entre inspecciones y la óptima planificación de reparaciones.

Este análisis se puede llevar a cabo de acuerdo a las necesidades del cliente, y las diferentes variantes pueden ser:

- Servicio de arranque: en donde se certifica la condición de funcionamiento de un equipo nuevo o reacondicionado si está dentro de los parámetros admisibles y la vida útil del mismo.
- Servicio de emergencia: en donde se realizan todos los análisis posibles para llegar a determinar la causas de las vibraciones con su respectiva acción correctiva.
- Servicio de monitoreo periódico: en donde se establecen los parámetros a medir en una población de equipos y se lleva el siguiente proceso: captación de datos, análisis de los datos obtenidos y reporte de acciones correctivas.

2.2.3.2 Análisis de energía

El programa de diagnóstico de instalaciones eléctricas comprende un diagnóstico electro energético de las instalaciones, el mismo está diseñado para reducir el consumo y las pérdidas de energía. Consiste en analizar y determinar los balances de energía y cuantificar las posibles pérdidas, así como la eficiencia y el rendimiento de los equipos más importantes.

El programa se realiza con equipo especial de alto rendimiento, durante un periodo de 3 días x 24 horas continuas en sus instalaciones para poder tener parámetros más exactos en la elaboración del diagnóstico.

A partir de un adecuado diagnóstico se pueden generar resultados del siguiente tipo:

- Revisión de los equipos de medición instalados.
- Análisis del factor de potencia.
- Análisis y compensación de corrientes armónicas.
- Análisis del factor de carga.
- Detección de equipos sobredimensionados.
- Propuestas de optimización de consumo.

2.2.3.3 Alineación y balanceo dinámico

Es un servicio cuyo objetivo consiste en evitar que dos o más máquinas acopladas, provoquen esfuerzos, evitables mediante la alineación, que pueden traer como consecuencia la avería de piezas importantes en la máquina.

a) Alineación: Se ofrece este servicio con equipo y capacitación óptima. El equipo láser ofrece velocidad, precisión y la presentación de un reporte final inalterable.

b) Balanceo dinámico: Podemos llevar a cabo balanceos dinámicos altamente precisos, tanto en el sitio de operación de la maquinaria como en el taller.

Las ventajas de trabajar con equipo debidamente balanceado son

- Reducir desgaste de cojinetes y chumaceras.
- Reducir fatiga estructural en equipo y construcciones.

- Reducir fatiga de operadores causada por ruido.
- Incrementar la eficiencia de la maquinaria al reducir fuerzas centrífugas innecesarias.

2.2.3.5 Análisis de aceites

En aceites lubricantes se realizan las siguientes pruebas: espectrofotometría para determinación de desgaste de metales: Al, Cu, Fe, Cr, Pb, Si, Mo, Mg, Sn, Zn, P. Viscosidad (CST a 40 y 100 °C) contaminación de agua, conteo de partículas magnéticas con método ASTM 406.

2.2.3.5.1 Análisis de aceites dieléctricos

En aceites dieléctricos se realizan las siguientes pruebas: análisis físico-químico de aceites (A2). Siguiendo las recomendaciones del la CEI 422 “el mantenimiento y guía de vigilancia para los aceites aislantes en el servicio”, se analizarán las siguientes características físico-químicas:

- Aspecto según UNE 21320-3:
- Tensión de ruptura o rigidez dieléctrica según UNE 21309:
- Tangente del ángulo de pérdidas UNE 21-317/89:
- Contenido en agua UNE 21-384/92:
- Índice de neutralización ASTM D664/89 (Acidez):

Este tipo de análisis proporciona información del estado del medio dieléctrico. El que uno de estos parámetros o varios superen los límites considerados normales puede ser motivo de un envejecimiento prematuro del aislante (papel o aceite), así mismo, supone un alto riesgo para la instalación.

2.2.3.5.2 Análisis cromatográfico de gases (G1).

Por medio de la desgasificación del aceite y el posterior análisis de los gases, se obtendrá el contenido cualitativo y cuantitativo de los mismos:

- H₂ Hidrógeno:
- CH₄ Metano:
- C₂H₆ Etano:
- C₂H₄ Etileno:
- C₂H₂ Acetileno:

Los análisis se realizan según la norma UNE 21320-28/83 y UNE 21320-29/82 respectivamente.

Un detenido estudio de los gases mencionados, así como de la evolución de éstos permite conocer la existencia de defectos y el tipo de los mismos (térmico, descargas parciales, arcos, etc.). También el estudio de la evolución de los gases informa sobre su gravedad y posibles repercusiones futuras.

2.2.3.5.3 Análisis cromatográfico de compuestos furánicos (G2).

Mediante la extracción de los compuestos polares y el posterior análisis en cromatografía de líquidos de alto rendimiento, se cuantifica los siguientes compuestos:

2-Furfuraldehído

5-Hidroximetilfurfuraldehído

5-Metilfurfuraldehído

2-Furilmetilcetona

2-Furilalcohol

El análisis de estos productos, los cuales provienen de la degradación térmica del papel, informa acerca del estado del aislante celulósico. Por medio de la extrapolación del contenido de 2-Furfuraldehído disuelto en el aceite se puede hacer una aproximación de la vida útil del papel aislante.

Posteriormente se comprobó su gran toxicidad y la peligrosidad que entrañan para el medio ambiente, se prohibió su utilización como aislante líquido en los equipos eléctricos y se usaron sólo en los que se encontraban en funcionamiento anteriormente a esta normativa. Las actuales normativas especifican que un aceite que contenga más de 50 ppm de PCB se considera contaminado y debe manipularse como tal.

2.2.4 Mantenimiento correctivo

Son todos los servicios ejecutados en los equipos con falla.

Falla: ocurrencia en un equipo que impide su funcionamiento.

El mantenimiento correctivo tiene dos funciones perfectamente definidas: 1) Corregir aquellas fallas sistemáticas que presenta en máquinas o instalaciones, llegando incluso al cambio de material o de diseño con el objeto de suprimirlas o, por lo menos, de alejar lo máximo posible su aparición en el tiempo. 2) Reacondicionamiento de máquinas o instalaciones que por su uso ya se encuentra en condiciones que hacen difícil su operación.

Ante estas funciones de mantenimiento, en algunas empresas suelen asignar funciones auxiliares o complementarias que son extremadamente variadas de una empresa a otra.

Lo mismo puede decirse de las responsabilidades asignadas al servicio de mantenimiento y dependerán fundamentalmente de la carga de trabajo específico que éste tenga.

2.2.5 Mantenimiento proactivo

Su aplicación se inició a principio de los años 90. Es un tipo de mantenimiento que concierne a toda la empresa, se aplican los tres tipos de mantenimiento anteriormente indicados, además de que en cualquier actuación correctiva, se busca el porqué de la avería y cuales son los medios que debemos aplicar para que no vuelva a suceder.

Al aplicar el mantenimiento proactivo, el preventivo ya no depende del tiempo exclusivamente, sino que las actuaciones varían para conseguir optimizarlos, de tal forma que el mantenimiento sea un beneficio para su centro.

Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar concientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento.

Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, asumiendo un rol en las operaciones de mantenimiento, bajo la premisa de que se debe atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente. El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el plan estratégico de la organización.

Este mantenimiento, a su vez, debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros aciertos y también errores.

2.2.6 Mantenimiento productivo total o TPM

Mantenimiento productivo total es la traducción de TPM (*Total Productive Maintenance*). El TPM es el sistema japonés de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto de "mantenimiento preventivo" creado en la industria de los Estados Unidos.

Asumimos el término TPM con los siguientes enfoques: la letra "M" representa acciones de management y mantenimiento. Es un enfoque de realizar actividades de dirección y transformación de empresa. La letra "P" está vinculada a la palabra "productivo" o "productividad" de equipos pero que se puede asociar a un término con una visión más amplia como "perfeccionamiento". La letra "T" de la palabra "total" se interpreta como "todas las actividades que realizan todas las personas que trabajan en la empresa".

El TPM es una estrategia compuesta por una serie de actividades ordenadas que, una vez implantadas, ayudan a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios.

Se considera como estrategia, ya que ayuda a crear capacidades competitivas a través de la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos.

El TPM permite diferenciar una organización en relación a su competencia debido al impacto en la reducción de los costes, mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el conocimiento que poseen las personas y la calidad de los productos y

servicios finales. El TPM es un sistema orientado a lograr: cero accidentes, cero defectos, cero averías.

Estas acciones deben conducir a la obtención de productos y servicios de alta calidad, mínimos costes de producción, alta moral en el trabajo y una imagen de empresa excelente. No sólo deben participar las áreas productivas, se debe buscar la eficiencia global con la participación de todas las personas de todos los departamentos de la empresa. La obtención de las "cero pérdidas" se debe lograr a través de la promoción de trabajo en grupos pequeños, comprometidos y entrenados para lograr los objetivos personales y de la empresa.

2.2.6.1 Objetivos

Los objetivos que una organización busca al implantar el TPM pueden tener diferentes dimensiones:

a) Objetivos estratégicos: el proceso TPM ayuda a construir capacidades competitivas desde las operaciones de la empresa, gracias a su contribución a la mejora de la efectividad de los sistemas productivos, flexibilidad y capacidad de respuesta, reducción de costes operativos y conservación del "conocimiento" industrial.

b) Objetivos operativos: el TPM tiene como propósito en las acciones cotidianas que los equipos operen sin averías y fallos, eliminar toda clase de pérdidas, mejorar la fiabilidad de los equipos y emplear verdaderamente la capacidad industrial instalada.

c) Objetivos organizativos: el TPM busca fortalecer el trabajo en equipo, incremento en la moral en el trabajador, crear un espacio donde cada persona pueda aportar lo mejor de sí, todo esto con el propósito de hacer del sitio de trabajo un entorno creativo, seguro, productivo y donde trabajar sea realmente grato.

2.2.6.2 Características

Las características del TPM más significativas son: acciones de mantenimiento en todas las etapas del ciclo de vida del equipo; participación amplia de todas las personas de la organización y es observado como una estrategia global de empresa, en lugar de un sistema para mantener equipos. Esta orientado a la mejora de la efectividad global de las operaciones, en lugar de prestar atención a mantener los equipos funcionando. Además a la intervención significativa del personal involucrado en la operación, y producción en el cuidado y conservación de los equipos y recursos físicos. Todos éstos son procesos de mantenimiento fundamentados en la utilización profunda del conocimiento que el personal posee sobre los procesos.

El modelo original TPM propuesto por el *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM) sugiere utilizar pilares específicos para acciones concretas diversas, las cuales se deben implantar en forma gradual y progresiva, asegurando cada paso dado mediante acciones de autocontrol del personal que interviene.

El TPM se orienta a la mejora de dos tipos de actividades directivas: dirección de operaciones de mantenimiento, y dirección de tecnologías de mantenimiento.

2.2.6.3 Beneficios del TPM

a) Organizativos: mejora de calidad del ambiente de trabajo, mejor control de las operaciones, incremento de la moral del empleado, creación de una cultura de responsabilidad, disciplina y respeto por las normas de aprendizaje permanente, creación de un ambiente donde la participación, colaboración y creatividad sea una realidad, dimensionamiento adecuado de las plantillas de personal, redes de comunicación eficaces.

b) Seguridad: mejorar las condiciones ambientales, cultura de prevención de eventos negativos para la salud, incremento de la capacidad de identificación de problemas potenciales y de búsqueda de acciones correctivas, entender el porqué de ciertas normas, en lugar de cómo hacerlo, prevención y eliminación de causas potenciales de accidentes, eliminar radicalmente las fuentes de contaminación y polución.

c) Productividad: eliminar pérdidas que afectan la productividad de las plantas, mejora de la fiabilidad y disponibilidad de los equipos; reducción de los costes de mantenimiento, mejora de la calidad del producto final; menor coste financiero por recambios, mejora de la tecnología de la empresa; aumento de la capacidad de respuesta a los movimientos del mercado, y crear capacidades competitivas desde la fábrica.

2.3 Ventajas del uso de mantenimiento

El concepto de eficiencia de mantenimiento, sin definir los criterios según los cuales se medirá, carece de sentido.

- Desde el punto de vista de control de mano de obra, el mantenimiento es eficaz si todo el personal trabaja en todo momento sobre un nivel normalizado de esfuerzo, sin excederse en cuanto a tiempo desocupado razonable y necesario para reponer el cansancio y satisfacer los requisitos personales.
- Desde el punto de vista de control de costos, la eficiencia del mantenimiento podrá medirse en función de la capacidad del departamento del mismo a fin de no sobrepasar su presupuesto de materiales y mano de obra.
- El encargado de seguridad considera eficaz el mantenimiento cuando no se producen accidentes atribuibles a máquinas y equipo.

Cada uno de estos criterios es real y razonable, con ciertas reservas. Una limitación consiste en que ninguno de los criterios puede considerarse independiente de los demás, porque a causa de sus características individuales están en pugna unos con los otros. Por ejemplo, satisfacer los criterios de producción en cuanto a la prevención de desarreglos o la restauración del equipo a la mayor brevedad posible, engendra ineficacia, según los demás criterios, pues es imprescindible una gran cantidad de personal de mantenimiento para tener un servicio rápido en un momento de avería.

Como las averías sobrevienen en forma aleatoria, el departamento de mantenimiento tendría que contar con personal suficiente para satisfacer la demanda máxima, lo cual crearía un exceso de desocupación en los periodos en que la demanda es mínima, y así, desde el punto de vista de mano de obra, baja significativamente la medida de eficiencia. Al mismo tiempo, con el fin de reintegrar rápidamente una máquina fallada, se toman medidas provisionales para que el equipo trabaje hasta el próximo periodo de desocupación programada, que es cuando se hará la reparación permanente.

Las reparaciones provisionales incrementan la inseguridad y reducen la eficiencia del criterio correspondiente.

Simultáneamente, el personal excesivo, el mantenimiento permanente después de la reparación provisional y la necesidad de tener existencia de repuestos para asegurar composturas rápidas, aumentaran los costos, disminuyendo así la eficiencia desde el punto de vista de control de costos.

Efectos análogos pueden imaginarse con respecto a los demás criterios, si alguno aislado se maximiza. Las decisiones en cuanto al intercambio entre eficiencias es a menudo bastante arbitrario, y en el mejor de los casos se utilizan tan sólo técnicas de equilibrio cualitativo. Por medio de un enfoque sistemático, basándose en el costo total como criterio, se pueden equilibrar los criterios tradicionales.

2.4 Índices de clase mundial para el mantenimiento

Son llamados índices clase mundial aquellos que son utilizados según la misma expresión en todos los países. De los seis índices clase mundial, cuatro son los que se refieren al análisis de la gestión de equipos y dos a la gestión de costos, de acuerdo con las siguientes relaciones:

2.4.1 Tiempo medio entre fallas

Relación entre el producto del número de ítem por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en esos ítem, en el periodo observado.

$$\text{TMEF} = \frac{\text{NOIT.HROP}}{\sum \text{NTMC}}$$

Este índice debe ser usado para ítem que son reparados después de la ocurrencia de una falla.

2.4.2 Tiempo medio para reparación

Relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítem con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado.

$$\text{TMPR} = \frac{\sum \text{HTMC}}{\text{NTMC}}$$

Este índice debe ser usado, para ítem en los cuales el tiempo de reparación es significativo, con relación al tiempo de operación.

2.4.3 Tiempo medio para la falla

Relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de ítem no reparable y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado.

$$\text{TMPF} = \frac{\sum \text{HROP}}{\text{NTMC}}$$

Este índice debe ser usado para ítem que son sustituidos después de la ocurrencia de una falla.

Es importante observar la diferencia conceptual existente entre los índices tiempo medio para la falla y tiempo medio entre fallas. El primer índice (TMPF) es calculado para ítem que no son reparados tras la ocurrencia de una falla, es decir, cuando fallan son sustituidos por nuevos y, en consecuencia, su tiempo de reparación es cero.

El segundo índice (TMEF) es calculado para ítem que son reparados tras la ocurrencia de la falla. Por lo tanto, los dos índices son mutuamente exclusivos, esto es, el cálculo de uno excluye el cálculo del otro, para ítem iguales.

El cálculo del tiempo medio entre fallas debe estar asociado al cálculo del tiempo medio para la reparación. Debido a que dichos índices presentan un resultado promedio, su exactitud está asociada a la cantidad de ítem observados y al periodo de observación. Cuanto mayor sea la cantidad de datos, mayor será la precisión de la expectativa de sus valores.

En caso de no existir gran cantidad de ítem, o en el caso que se desee obtener los tiempos promedios entre fallas de cada uno, es recomendable trabajar con periodos bastante amplios de observación (cinco años o más), para garantizar la confiabilidad de los resultados.

Especial atención se debe tener en el desarrollo de programas informatizados para el cálculo de estos índices, pues puede ocurrir que, en el periodo considerado, el número de ocurrencias (fallas) sea cero, haciendo que el programa se trabe. Como sugerencia para este tipo de acontecimiento, debe ser hecha la consideración de la existencia de una falla con tiempo igual a cero, que daría un valor constante para cualquier condición de cálculo.

2.4.4 Disponibilidad de equipos

Relación entre la diferencia del número de horas del periodo considerado (horas calendario) con el número de horas de intervención por el personal de mantenimiento (mantenimiento preventivo por tiempo o por estado, mantenimiento correctivo y otros servicios) para cada ítem observado y el número total de horas del periodo considerado.

$$\text{DISP} = \frac{(\text{HCAL} - \text{HTMN})}{\Sigma \text{HCAL}} * 100$$

La disponibilidad de un ítem representa el porcentaje del tiempo en que quedó a disponibilidad del órgano de operación para desempeñar su actividad. El índice de disponibilidad también es identificado como performance o desempeño de equipos y, para ítem de operación eventual, puede ser calculado como la relación entre el tiempo total de operación de cada uno y la suma de este tiempo con el respectivo tiempo total de mantenimiento en el periodo considerado.

Otra expresión muy común, utilizada para el cálculo de la disponibilidad de equipos sometidos exclusivamente a la reparación de fallas, es obtenida por la relación entre el tiempo medio entre falla (TMEF) y su suma con el tiempo medio para reparación y los tiempos ineficaces del mantenimiento (tiempos de preparación para desconexión y nueva conexión y tiempos de espera que pueden estar contenidos en los tiempos promedios entre fallos y de reparación).

$$\text{DISP} = \frac{\Sigma \text{TMEF}}{\text{TMEF} + \text{TMPR}} * 100$$

Es posible observar que está es la expresión más simple ya que es obtenida a partir de la relación entre dos otros índices normalmente ya calculados.

El índice de disponibilidad (*o performance*) es de gran importancia para la gestión del mantenimiento, pues a través de éste, puede ser hecho un análisis selectivo de los equipos, cuyo comportamiento operacional está por debajo de estándares aceptables.

2.4.4.1 Costo de mantenimiento por facturación

Relación entre el costo total de mantenimiento y la facturación de la empresa en el periodo considerado.

$$\text{CMFT} = \frac{\text{CTMN}}{\text{FTEP}} * 100$$

Este índice es de fácil cálculo ya que los valores, tanto del numerador como los del denominador, son normalmente procesados por el órgano de contabilidad de la empresa.

2.4.4.2 Costos de mantenimiento por el valor de reposición

Relación entre el costo total acumulado en el mantenimiento de un determinado equipo y el valor de compra de ese mismo equipo nuevo (valor de reposición).

$$\text{CMRP} = \frac{\sum \text{CTMN}}{\text{VLRP}} * 100$$

Este índice debe ser calculado para los ítem más importantes de la empresa (que afectan la facturación, la calidad de los productos o servicios, la seguridad o al medio ambiente), ya que como fue indicado, es personalizado para el ítem y utiliza valores acumulados, lo que torna su procesamiento más demorado que los demás, no se justifica de esta forma ser utilizado para ítem secundarios.

2.4.5 Gestión de equipos

Además de los cuatro índices de equipos identificados como clase mundial, existen otros que pueden auxiliar en la evaluación de los criterios de intervención y del proceso de gestión.

2.4.5.1 Tiempo medio entre mantenimientos preventivos

Relación entre el producto del número de ítem por sus tiempos de operación, con relación al número total de intervenciones preventivas, en el periodo observado.

$$\text{TPEP} = \frac{\text{NOIT} * \text{HROP}}{\Sigma \text{NTMP}}$$

2.4.5.2 Tiempo medio para intervenciones preventivas

Relación entre el tiempo total de intervención preventiva en un conjunto de ítem, y el número total de intervenciones preventivas en esos ítems, en el periodo observado.

$$\text{TPMP} = \frac{\Sigma \text{HRMP}}{\text{NTMP}}$$

2.4.5.3 Tasa de falla observada

Relación entre el número total de ítem con falla, y el tiempo total acumulado durante el cual este conjunto fue observado.

$$\text{TXRP} = \frac{\text{NTMC}}{\Sigma \text{HRMC}}$$

Este índice debe estar asociado a intervalos de tiempo, condiciones particulares y especificadas y; el tiempo total acumulado deberá ser la suma de todos los intervalos de tiempo, durante los cuales cada ítem, de manera individual, quedó sujeto a las condiciones específicas de funcionamiento.

La utilización de algunos de los índices presentados permitirá visualizar, para los ítem controlados, cuales son los que necesitan mayor atención del órgano de ejecución del mantenimiento y, no obstante, se recomiende que la recolección y el cálculo se limiten a periodos mensuales, el análisis deberá ser realizado para periodos mayores (anual o semestral), donde se tendrán mayor cantidad de datos para poder pronosticar el comportamiento de esos equipos. Se recomienda también, la comparación entre periodos diferentes, para examinar si hubo progreso en las precauciones tomadas, en función del análisis de los periodos anteriores.

2.4.5.4 Componente del costo de mantenimiento

Relación entre el costo total del mantenimiento y el costo total de la producción.

$$CCMN = \frac{CTMN}{CTPR} * 100$$

El costo total de la producción incluye los gastos directos e indirectos de ambos órganos (operación y mantenimiento), incluso la respectiva facturación cesante.

Una vez elegidos, los índices deberán ser estandarizados para todas las áreas de mantenimiento, para que sean calculados periódicamente y presentados en forma de tablas y gráficos comparativos, con el objetivo de motivar el análisis y las sugerencias respecto a las distorsiones.

Para facilitar el análisis, podrán ser determinados los valores promedios de los índices elegidos y establecidos los desvíos estándares, de forma que se obtengan intervalos aceptables de variación de cada uno.

Por esta razón, las áreas afectadas deberán participar de las fases de la planificación del sistema, cuando sean definidos los índices a ser calculados y el sistema de recolección de datos para el cálculo de esos índices; del análisis de resultados, para la evaluación de métodos y la presentación de las justificaciones, y en la búsqueda de alternativas, con la finalidad de transformar la inversión en tiempo y dinero en el desarrollo del proceso compensador.

Dado que existe el consentimiento de los órganos involucrados en el análisis, respecto al establecimiento de intervalos de tolerancia para los índices calculados, solamente los valores que los superen serán analizados y justificados por el área afectada.

También pueden ser buscadas metas de reducción de los promedios o intervalos de tolerancia, con la participación directa de las áreas de ejecución del mantenimiento, en las reuniones que traten del establecimiento de metas, en función de su viabilidad con los recursos disponibles. En ese caso, las áreas que consiguieron los mejores valores en sus índices deberán divulgar los mecanismos utilizados a las demás áreas, siendo esta una razón más para la utilización del valor básico de referencia común a todas las áreas.

Sin embargo, la búsqueda de reducción de valores no debe tener como tributo el desgaste del equipo, la reducción del desempeño de los equipos, o la introducción de riesgos a la seguridad del trabajo.

3. TERMOGRAFÍA

3.1 Historia de la termografía

3.1.1 Descubrimiento de los rayos infrarrojos

El descubridor de los rayos infrarrojos es Sir Frederick William Herschel, nacido en Hanover, Alemania en 1738. Él fue muy conocido tanto como músico como astrónomo. En el año 1757 emigró hacia Inglaterra donde con su hija Carolina construyeron un telescopio. Su más famoso descubrimiento fue el del planeta Urano, en el año 1781.

En el año de 1800, William Herschel hizo otro descubrimiento muy importante. Se interesó en verificar cuánto calor pasaba por filtros de diferentes colores al ser observados al sol. Se dio cuenta de que esos filtros de diferentes colores dejaban pasar diferente nivel de calor. Continuando con ese experimento, Herschel hizo pasar luz del sol por un prisma de vidrio y con esto se formó un espectro (el "arco iris" que se forma cuando se divide a la luz en sus colores).

Al hacer controles de temperatura en los distintos colores de ese espectro, verificó que más allá del rojo, fuera de las radiaciones visibles, la temperatura era más elevada. Él encontró que esta radiación invisible por encima del rojo se comporta de la misma manera desde el punto de vista de la reflexión, refracción, absorción y transmisión que la luz visible. Era la primera vez que alguien demostraba que había otra forma de iluminación o radiación que era invisible al ojo humano. Esta radiación inicialmente la denominó rayos caloríficos y luego infrarrojos (infra: quiere decir abajo), es decir, por debajo del nivel de energía del rojo.

El año 2000 marca el 200 aniversario del descubrimiento de William Herschel del infrarrojo, y este aniversario encuentra a la tecnología infrarroja en plena expansión en todas sus aplicaciones. La astronomía, la medicina, la seguridad pública, en el rescate, en la electrónica, en la meteorología, la ingeniería de procesos, el mantenimiento industrial, el análisis de la vegetación, o el estudio de las temperaturas de los océanos, para mencionar algunas. No sólo se encuentra en plena expansión, sino que también se perfila como una tecnología de uso masivo en el mediano plazo.

3.1.2 Rayos infrarrojos

Emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas en la zona del espectro situada inmediatamente después de la zona roja de la radiación visible. La longitud de onda de los rayos infrarrojos es menor que la de las ondas de radio y mayor que la de la luz visible. Oscila entre aproximadamente 10^{-6} y 10^{-3} metros. La radiación infrarroja puede detectarse como calor, para lo que se emplean instrumentos como el bolómetro.

Los rayos infrarrojos se utilizan para obtener imágenes de objetos lejanos ocultos por la bruma atmosférica, que dispersa la luz visible pero no la radiación infrarroja. En astronomía se utilizan los rayos infrarrojos para estudiar determinadas estrellas y nebulosas.

Para las fotografías infrarrojas de alta precisión, se emplea un filtro opaco que sólo deja pasar radiación infrarroja, pero generalmente basta un filtro corriente anaranjado o rojo claro, que absorbe la luz azul y violeta.

La fotografía infrarroja, desarrollada hacia 1880, se ha convertido en la actualidad en una importante herramienta de diagnóstico en la medicina, la agricultura y la industria.

El uso de técnicas infrarrojas permite observar situaciones patológicas que no pueden verse a simple vista ni en una radiografía.

La teledetección mediante fotografía infrarroja, aérea y orbital se ha empleado para observar las condiciones de las cosechas y el daño por insectos y enfermedades en grandes zonas agrícolas, así como para localizar depósitos minerales. Los rayos infrarrojos son una parte cada vez más importante de la investigación de metales y aleaciones, y la fotografía infrarroja se emplea para regular la calidad de los productos. Dispositivos infrarrojos como los empleados durante la II Guerra Mundial permiten ver objetos en la oscuridad.

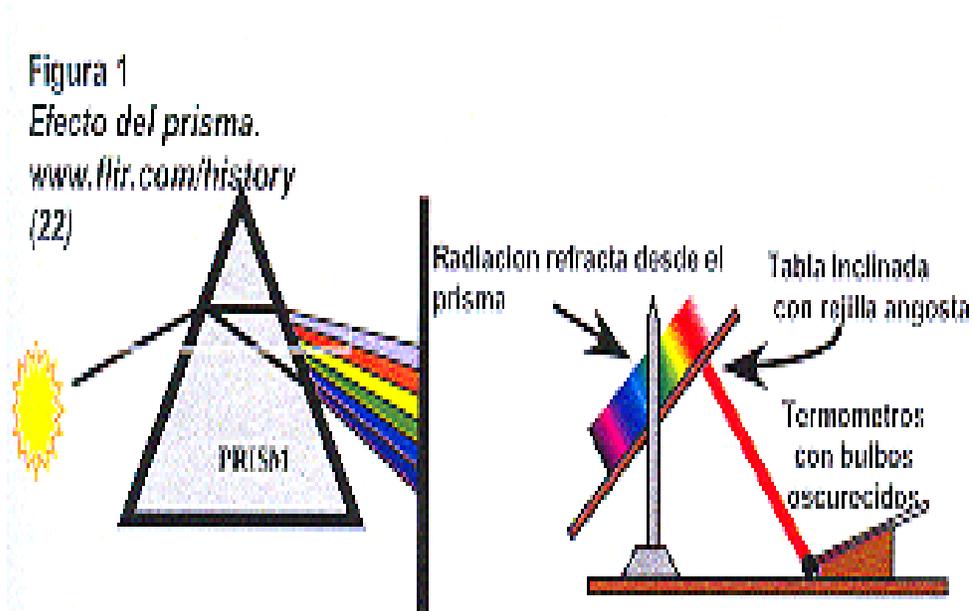
Estos instrumentos consisten básicamente en una lámpara que emite un haz de rayos infrarrojos, a veces denominados luz negra, y un telescopio que recibe la radiación reflejada por el objeto y la convierte en una imagen visible.

3.1.2.1 Física del infrarrojo

En el año de 1800, William Herschel hizo otro descubrimiento muy importante, se interesó en verificar cuánto calor pasaba por los filtros de diferentes colores al ser observados al sol. Se dio cuenta que esos filtros de diferentes colores dejaban pasar diferente nivel de calor.

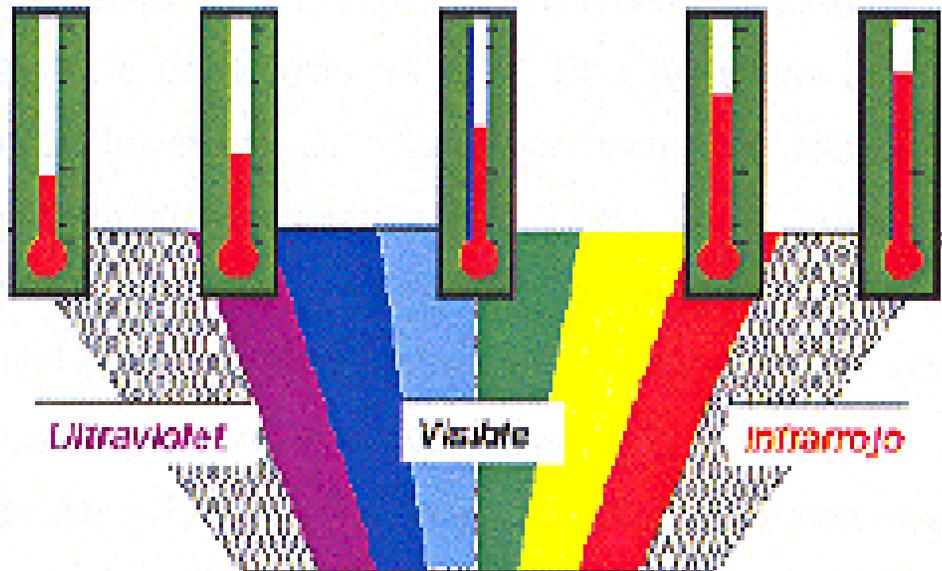
Posteriormente Herschel hizo pasar luz del sol por un prisma de vidrio y con esto se formó un espectro (el arco iris que se forma cuando se divide la luz blanca en sus colores).

Figura 1. Efecto del prisma



Al Hacer controles de temperatura en los distintos colores de ese espectro, verificó que más allá del rojo fuera de las radiaciones visibles la temperatura era más elevada. Él encontró que esta radiación invisible por encima del rojo se comporta de la misma manera desde el punto de vista de la reflexión, refracción, absorción y transmisión que la luz visible.

Figura 2. Observaciones de Herschel



3.1.3 Espectro

Serie de colores semejante a un arco iris, por este orden: violeta, azul, verde, amarillo, anaranjado y rojo, que se produce al dividir una luz compuesta como la luz blanca en sus colores constituyentes. El arco iris es un espectro natural producido por fenómenos meteorológicos. Puede lograrse un efecto similar haciendo pasar luz solar a través de un prisma de vidrio. La primera explicación correcta de este fenómeno la dió en 1666 el matemático y físico británico Isaac Newton.

Cuando un rayo de luz pasa de un medio transparente como el aire a otro medio transparente, por ejemplo vidrio o agua, el rayo se desvía; al volver a salir al aire vuelve a desviarse.

Esta desviación se denomina refracción; la magnitud de la refracción depende de la longitud de onda de la luz. La luz violeta, por ejemplo, se desvía más que la luz roja al pasar del aire al vidrio o del vidrio al aire. Así, una mezcla de luces roja y violeta se dispersa al pasar por un prisma en forma de cuña y se divide en dos colores.

Los aparatos para observar visualmente un espectro se denominan espectroscopios; los que sirven para observar y registrar un espectro fotográficamente se llaman espectrógrafos; los empleados para medir la intensidad de las diferentes partes del espectro se denominan espectrofotómetros.

La ciencia que utiliza los espectroscopios, espectrógrafos y espectrofotómetros para estudiar los espectros se conoce como espectroscopia. Para medidas espectroscópicas extremadamente precisas se emplean interferómetros. En el siglo XIX, los científicos descubrieron que más allá del extremo violeta del espectro podía detectarse una radiación invisible para el ojo humano, pero con una marcada acción fotoquímica; se la denominó radiación ultravioleta.

Igualmente, más allá del extremo rojo del espectro se detectó radiación infrarroja que aunque era invisible transmitía energía, como demostraba su capacidad para hacer subir un termómetro. Como consecuencia, se redefinió el término espectro para que abarcara esas radiaciones invisibles, y desde entonces se ha ampliado para incluir las ondas de radio más allá del infrarrojo y los rayos X y rayos *gamma* más allá del ultravioleta.

En la actualidad, el término espectro se aplica frecuentemente en un sentido más amplio a cualquier distribución ordenada producida por el análisis de un fenómeno complejo.

Un sonido complejo, como por ejemplo un ruido, puede analizarse como un espectro acústico formado por tonos puros de diferentes frecuencias. Igualmente, una mezcla compleja de elementos o isótopos con distinta masa atómica puede ser separada en una secuencia ordenada según su masa atómica y denominada espectro de masas.

La espectroscopia no sólo ha proporcionado un método importante y sensible para el análisis químico, sino que ha sido el principal instrumento para descubrimientos en campos aparentemente no relacionados, como la astrofísica o la teoría atómica.

En general, los cambios en el movimiento de los electrones exteriores de los átomos dan lugar a espectros en la región visible, infrarroja y ultravioleta. Los cambios en el movimiento de los electrones interiores de los átomos pesados producen espectros de rayos X. Los cambios en la configuración del núcleo de un átomo producen espectros de rayos *gamma*. Los cambios en la configuración de las moléculas producen espectros visibles e infrarrojos.

Los distintos colores de luz tienen en común el ser radiaciones electromagnéticas que se desplazan con la misma velocidad, aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo. Se diferencian en su frecuencia y longitud de onda (la frecuencia es igual a la velocidad de la luz dividida entre la longitud de onda).

Dos rayos de luz con la misma longitud de onda tienen la misma frecuencia y el mismo color. La longitud de onda de la luz es tan corta que suele expresarse en nanómetros (nm), que equivalen a una milmillonésima de metro, o una millonésima de milímetro. La longitud de onda de la luz violeta varía entre unos 400 y 450 nm, y la de la luz roja entre unos 620 y 760 nm.

3.1.4 Frecuencia natural

Cualquier objeto oscilante tiene una “frecuencia natural”, que es la frecuencia con la que tiende a vibrar si no se le perturba. Por ejemplo, la frecuencia natural de un péndulo de 1 m de longitud es de 0,5 hz., lo que significa que el péndulo va y vuelve una vez cada 2 segundos. Si se le da un ligero impulso al péndulo cada 2 segundos, la amplitud de la oscilación aumenta gradualmente hasta hacerse muy grande.

El fenómeno por el que una fuerza relativamente pequeña aplicada de forma repetida hace que la amplitud de un sistema oscilante se haga muy grande se denomina resonancia. Muchos problemas graves de vibración en ingeniería son debidos a la resonancia.

Por ejemplo, si la frecuencia natural de la carrocería de un automóvil es la misma que el ritmo del motor cuando gira a una velocidad determinada, la carrocería puede empezar a vibrar o a dar fuertes sacudidas. Esta vibración puede evitarse al montar el motor sobre un material amortiguador, por ejemplo hule o goma, para aislarlo de la carrocería.

3.2 Definición de termografía

La termografía de infrarrojos es una técnica basada en la captación de la radiación infrarroja emitida por los cuerpos. Una imagen termográfica representa, mediante colores o distintos niveles de grises, un mapa instantáneo de temperaturas superficiales.

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

La termografía también se puede definir como el estudio que consiste en la detención del calor que emite un objeto, el cual se puede medir a través del uso de una cámara infrarroja. Este es un nuevo concepto de servicios orientado a todo tipo de industrias.

Su finalidad es predecir los posibles problemas en equipos e instalaciones, sin necesidad de detener la maquinaria, y así poder detectar fallas antes de que ocurran para reducir costos debido a paros innecesarios, desperfectos mayores e inclusive hasta el paro total de una instalación.

Se trata de una técnica no destructiva, mediante la cual es posible la revisión rápida y completa de una instalación sin necesidad de descarga ni contacto físico con la misma, mediante el análisis de su “imagen térmica” recogida en una pantalla de rayos catódicos. Así, se puede detectar y evaluar fácilmente los defectos que se manifiestan por calentamiento en una instalación. La termografía se basa en que toda materia puede transmitir energía térmica por medio de tres formas: conducción, convección y radiación.

3.2.1 Conducción

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

Esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo cambiado). El factor de proporcionalidad se denomina conductividad térmica del material.

Los materiales como el oro, la plata o el cobre tienen conductividades térmicas elevadas y conducen bien el calor, mientras que materiales como el vidrio o el amianto tienen conductividades cientos, e incluso miles de veces menores; conducen muy mal el calor, y se conocen como aislantes.

En ingeniería resulta necesario conocer la velocidad de conducción del calor a través de un sólido en el que existe una diferencia de temperatura conocida. Para averiguarlo se requieren técnicas matemáticas muy complejas, sobre todo si el proceso varía con el tiempo; en este caso, se habla de conducción térmica transitoria. Con la ayuda de ordenadores analógicos y digitales, estos problemas pueden resolverse en la actualidad incluso para cuerpos de geometría complicada.

3.2.2 Convección

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección.

El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de

movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural.

La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

Supongamos, por ejemplo, que calentamos desde debajo de una cacerola llena de agua. El líquido más próximo al fondo se calienta por el calor que se ha transmitido por conducción a través de la cacerola. Al expandirse, su densidad disminuye y como resultado de ello el agua caliente asciende y parte del fluido más frío baja hacia el fondo, con lo que se inicia un movimiento de circulación. El líquido más frío vuelve a calentarse por conducción, mientras que el líquido más caliente situado arriba pierde parte de su calor por radiación y lo cede al aire situado por encima.

De forma similar, en una cámara vertical llena de gas, como la cámara de aire situada entre los dos paneles de una ventana con doble vidrio, el aire situado junto al panel exterior –que está más frío- desciende, mientras que al aire cercano al panel interior – más caliente- asciende, lo que produce un movimiento de circulación.

El calentamiento de una habitación mediante un radiador no depende tanto de la radiación como de las corrientes naturales de convección, que hacen que el aire caliente suba hacia el techo y el aire frío del resto de la habitación se dirija al radiador.

Debido a que el aire caliente tiende a subir y el aire frío a bajar, los radiadores deben colocarse cerca del suelo (y los aparatos de aire acondicionado cerca del techo) para que la eficiencia sea máxima. De la misma forma, la convección natural es responsable de la ascensión del agua caliente y el vapor en las calderas de convección natural, y del tiro de las chimeneas. La convección también determina el movimiento de las grandes masas de aire sobre la superficie terrestre, la acción de los vientos, la formación de nubes, las

corrientes oceánicas y la transferencia de calor desde el interior del sol hasta su superficie.

3.2.3 Radiación

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

En 1905, Albert Einstein sugirió que la radiación presenta a veces un comportamiento cuantizado: en el efecto fotoeléctrico, la radiación se comporta como minúsculos proyectiles llamados fotones y no como ondas. La naturaleza cuántica de la energía radiante se había postulado antes de la aparición del artículo de Einstein, y en 1900 el físico Alemán Máx Planck empleó la teoría cuántica y el formalismo matemático de la mecánica estadística para derivar una ley fundamental de la radiación.

La expresión matemática de esta ley, llamada distribución de Planck, relaciona la intensidad de la energía radiante que emite un cuerpo en una longitud de onda determinada con la temperatura del cuerpo. Para cada temperatura y cada longitud de onda existe un máximo de energía radiante. Sólo un cuerpo ideal (cuerpo negro) emite radiación ajustándose exactamente a la ley de Planck. Los cuerpos reales emiten con una intensidad algo menor.

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

unidad de superficie del cuerpo y por unidad de tiempo. Como puede demostrarse a partir de la ley de Planck, el poder emisor de una superficie es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

El factor de proporcionalidad se denomina constante de Stefan Boltzmann que, en 1879 y 1884 respectivamente, descubrió esta proporcionalidad entre el poder emisor y la temperatura. Según la segunda ley de Planck, todas las sustancias emiten energía radiante solo por tener una temperatura superior al cero absoluto. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la cantidad de energía emitida. Además de emitir radiación, todas las sustancias son capaces de absorberla. Por eso, aunque un cubito de hielo emite energía radiante de forma continua, se funde si se ilumina con una lámpara incandescente porque absorbe una cantidad de calor mayor de la que emite.

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

Algunas sustancias, entre ellas muchos gases y el vidrio, son capaces de transmitir grandes cantidades de radiación. Se observa experimentalmente que las propiedades de absorción, reflexión y transmisión de una sustancia dependen de la longitud de onda de la radiación incidente. El vidrio, por ejemplo, transmite grandes cantidades de radiación ultravioleta, de baja longitud de onda, pero es un más transmisor de los rayos infrarrojos, de alta longitud de onda.

Una consecuencia de la distribución de Planck es que la longitud de onda a la que un cuerpo emite la cantidad máxima de energía radiante disminuye con la temperatura. La ley de desplazamiento de Wien, llamada así en honor al físico Alemán Wihelm Wien, es una expresión matemática de esta observación, y afirma que la longitud de onda que corresponde a la máxima energía, multiplicada por la temperatura absoluta del cuerpo, es igual a una constante, 2.878 micrómetros-kelvin.

Este hecho, junto con las propiedades de transmisión del vidrio antes mencionadas, explica el calentamiento de los invernaderos.

La energía radiante del sol maximiza en las longitudes de onda visibles, se transmite a través del vidrio y entra en el invernadero. En cambio, la energía emitida por los cuerpos del interior del invernadero, predominantemente de longitudes de ondas mayores, correspondientes al infrarrojo, no transmiten al exterior a través del vidrio. Así aunque la temperatura del aire en el exterior del invernadero sea baja, la temperatura que hay dentro es mucho más alta porque se produce una considerable transferencia de calor neta hacia su interior.

Además de los procesos de transmisión de calor que aumentan o disminuyen las temperaturas de los cuerpos afectados, la transmisión de calor también puede producir cambios de fase, como la fusión del hielo o la ebullición del agua.

En ingeniería, los procesos de transferencia de calor suelen diseñarse de forma que aprovechen estos fenómenos. Por ejemplo, las cápsulas espaciales que regresan a la atmósfera de la tierra a velocidades muy altas están dotadas de un escudo térmico que se funde de forma controlada en un proceso llamado ablación para impedir un sobrecalentamiento del interior de la cápsula. La mayoría del calor producido por el rozamiento con la atmósfera se emplea en fundir el escudo térmico y no en aumentar la temperatura de la cápsula.

Figura 3. Diferencia entre conducción, convección y radiación

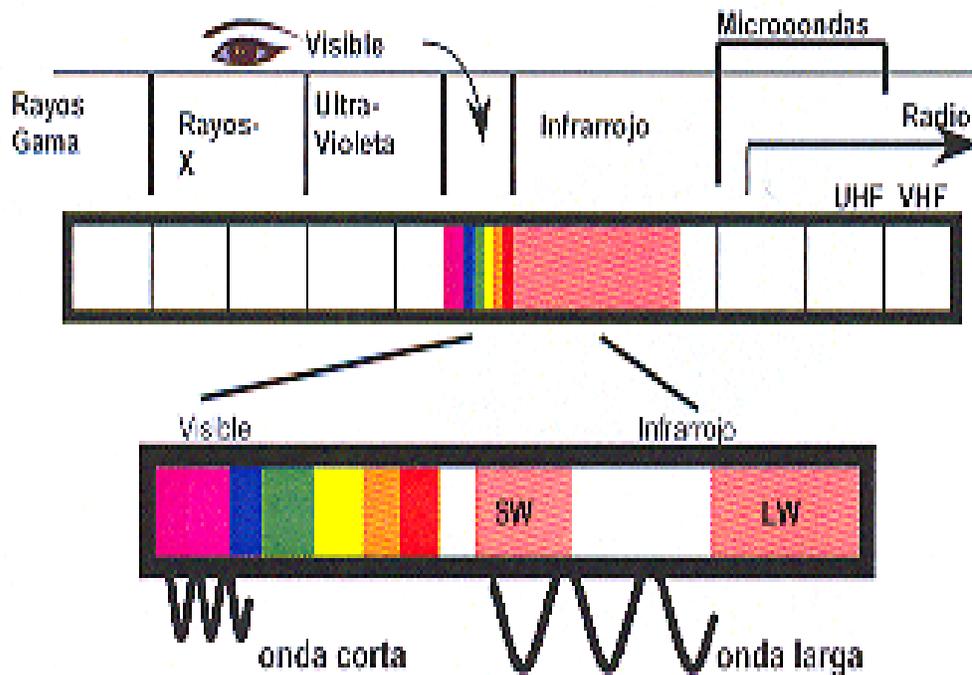


Según el manual de nivel 1 en termografía (2002) indica que la energía infrarroja o térmica es un rango de luz no visible, ya que la longitud de la onda que la forma es demasiado extensa para ser detectada por el ojo humano. Es similar a la luz visible, viaja a través del espacio a la misma velocidad de la luz que es de 2.99793×10^{10} cm/seg.

La unidad de medida de la longitud de onda del infrarrojo son los micrones o micrómetros (1 micrón es equivalente a una millonésima de metro). Es la parte del espectro electromagnético que nosotros percibimos como calor. A diferencia de la luz visible, en el mundo infrarrojo, todo aquello con temperatura por encima del cero absoluto (-273°C) emite calor.

Aun muchos objetos fríos, como los cubos de hielo, emiten rayos infrarrojos. Mientras más alta sea la temperatura de un objeto, mayor será la radiación infrarroja emitida.

Figura 4. Efecto del espectro electromagnético



Las cámaras infrarrojas producen imágenes de las ondas infrarrojas invisibles o radiaciones de calor, y tienen la capacidad de medir la temperatura sin requerir ningún contacto.

Debido a que casi todos los equipos tienden a calentarse en exceso antes de fallar, las cámaras infrarrojas son una valiosa herramienta para el diagnóstico en innumerables aplicaciones a un costo extremadamente efectivo puede observarse en un análisis de costo / beneficio de retorno se obtiene por cada unidad que se invierte en dinero.

Y como toda empresa se esfuerza por mejorar la eficiencia de manufactura, consumo de energía, la calidad del producto, garantizar la seguridad del trabajador, nuevas aplicaciones continuamente emergen.

3.2.4 ¿Por qué usar infrarrojo?

Una imagen dice más que mil palabras, la termografía infrarroja es sólo un diagnóstico tecnológico que instantáneamente deja visualizar y verificar el desarrollo térmico. Las cámaras infrarrojas muestran los problemas térmicos, cuantificándolos y realizando mediciones de temperatura sin necesidad de contacto, documentándose automáticamente en segundos y creando fácilmente un reporte profesional.

Casi todos los objetos que usan o transmiten energía se calientan antes de fallar. La gerencia efectiva de la energía es crítica para poder mantener la confiabilidad de los sistemas eléctricos o mecánicos, hoy en día hay muy buenos comentarios de que la tecnología infrarroja es una de las más efectivas técnicas para proveer mantenimiento.

El solo detectar el problema, en algunos casos no es suficiente. En realidad, una imagen infrarroja sin una medición precisa o exacta dice muy poco acerca de la condición de una conexión eléctrica o el desgaste en alguna parte mecánica. Y una inspección infrarroja sin una sencilla y rápida manera de reportar y analizar los resultados de la inspección no provee la capacidad de tomar la decisión de hacer la reparación a tiempo, o localizar y distinguir esos puntos calientes que pueden causar problemas, de aquellos que están asociados a la normal operación del equipo.

Las cámaras infrarrojas no sólo localizan problemas rápidamente, sino que además sus mediciones precisas de la temperatura sin contacto y la capacidad de análisis instantáneo darán las respuestas que se necesitan para tomar la decisión de cómo y cuándo reparar el daño.

3.3 Usos, ventajas y desventajas de la termografía

La termografía infrarroja, a lo largo de los últimos años, ha pasado a jugar un papel fundamental dentro de los ensayos no destructivos orientados a detectar cualquier anomalía o defecto que se manifieste en un cambio de la temperatura superficial de un objeto. Ese cambio se puede originar tanto por un defecto superficial como interno.

De todos es conocido que un cambio en la temperatura corporal es indicativo de algún "fallo" en nuestra salud. De igual modo ocurre en las instalaciones industriales.

En muchos casos, una alteración de la temperatura superficial puede obedecer a una o varias causas diferentes, como falta de aislamiento, degradación del material, soldadura defectuosa, etc.

Entre las principales ventajas de la termografía cabe señalar: (1) Los sensores no hacen contacto con el objeto, lo cual nos permite medir, desde una distancia de seguridad, altas temperaturas o bien registrar las temperaturas de una línea de alta tensión. (2) Los sensores presentan un tiempo de respuesta muy pequeño a la radiación térmica incidente, lo cual permite una medida casi instantánea. (3) El sistema de barrido óptico que incorporan los sistemas de termografía, permite obtener una imagen termográfica (o termograma) en tiempo real, con lo cual es posible inspeccionar grandes extensiones, y grabar en un soporte magnético la imagen de interés. (4) La imagen termográfica registrada puede analizarse posteriormente, para tratarla con un software adecuado. De este modo, podemos ver con claridad las zonas anormalmente "calientes" o "frías".

Las desventajas de utilizar un mantenimiento predictivo por medio de termografía infrarroja son las siguientes:

La inversión de realizar los servicios es elevada a corto plazo en ciertos casos. El mantenimiento predictivo por termografía infrarroja sólo predice las fallas o calentamientos elevados, no se encarga de corregirlos, por lo que la empresa es la única responsable de realizar los cambios.

3.3.1 Beneficios del uso de la termografía

Los beneficios de adoptar un programa de termografía infrarroja en las instalaciones, maquinaria o construcción, son variados. Se puede mencionar:

Localizar problemas potenciales en subestaciones, tableros eléctricos, motores y evitar gastos de reparaciones mayores por fallas.

Alargar la vida útil de motores y calderas, disminuir costos de reparación urgentes.

Programar prioridades de mantenimiento, reducir tiempos de paros programados para mantenimiento correctivo.

Verificar las reparaciones realizadas por personal de mantenimiento, contratistas externos.

Minimizar pérdidas en producción por paros no programados.

Hacer más eficientes los programas de mantenimiento predictivo.

4. APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA

4.1 Los campos de actuación

La termografía es un método no destructivo de evaluación y control muy flexible en el sentido de que sus aplicaciones pueden ser muy diversas. El abanico abarca desde campos muy especializados, como las aplicaciones militares, de seguridad, médicas, control de incendios forestales, etc, hasta las más representativas, como son las industrias de procesos y las instalaciones de generación y distribución de energía eléctrica.

Figura 5. Termograma de una chimenea



4.2 Termografía infrarroja aplicada al mantenimiento industrial

En el ámbito industrial, la aplicación de la termografía en el área de mantenimiento es una de las más difundidas, especialmente en el mantenimiento predictivo.

La termografía infrarroja en el área de mantenimiento predictivo presenta ventajas comparativas inigualables. Quizá sea el ensayo más divulgado y exitoso de los últimos años.

Se complementa eficientemente como los otros ensayos del mantenimiento como son el análisis de lubricantes, el análisis de vibraciones, el ultrasonido pasivo y el análisis predictivo de motores eléctricos. También, por supuesto, con los ensayos no destructivos clásicos como el ensayo radiográfico, el ultrasonido activo, tintas penetrantes, partículas magnéticas.

De todas las tecnologías, la termografía infrarroja sería la que está más vinculada a la seguridad de una instalación. Cuando nos referimos a seguridad, queremos decir seguridad tanto de las personas como de las instalaciones. Toda falla electromecánica, antes de producirse, se manifiesta generando calor (también se puede detectar pérdida de frío).

Este calor o elevación de temperatura puede ser una elevación súbita, pero, por lo general dependiendo del objeto, la temperatura comienza a manifestarse lentamente. Ahí es donde la termografía se transforma en una herramienta irremplazable. El objetivo es poder detectar a priori fallas que pueden producir una parada de planta o un siniestro.

Esto se traduce o significa reducir costos ocultos por lucro cesante, reducir las pólizas de seguro de la planta en sí y los seguros del personal en el área de accidentes del trabajo.

Los otros costos que se reducen sensiblemente son los del sector de mantenimiento propiamente dicho, área que puede organizar mejor sus tareas pensando a futuro y tratando de disminuir al mínimo posible las reparaciones diarias, las cuales son siempre muy costosas. También reduce los costos por disminución de *stock* de repuestos y por mejor control de los proveedores, a los cuales pueden reclamar en caso que la disipación de calor no esté conforme a las normas o a sus expectativas.

Cada planta e instalación tiene su historia de cómo fue concebida inicialmente y cómo se fueron sucediendo sus ampliaciones. La calidad de la ingeniería y el montaje inicial son fundamentales para los resultados futuros. La implementación de la termografía en el área de mantenimiento tiene un beneficio también indirecto sobre el área de producción y la calidad: menos paradas no programadas lo cual significa mayor productividad y también uniformidad en el producto.

La termografía es adaptable a las aplicaciones señaladas a continuación.

Control refractario.

Imágenes y medidas sobre producción industrial.

Estudios, búsqueda y desarrollo de producción.

4.3 Termografía aplicada a instalaciones de generación y distribución de energía eléctrica

Los sistemas de distribución eléctrica de alto voltaje representan una aplicación natural de la termografía infrarroja. Los defectos que, de no ser detectados, terminarían originando en el mejor de los casos un corte de fluido eléctrico, se deben a la formación de zonas de elevada resistencia eléctrica, las cuales a su vez son zonas de elevado nivel térmico. Las causas que originan esos defectos, suelen ser:

Conexiones afectadas por corrosión.

Suciedad en los contactos.

Filamentos rotos.

Degradación de los materiales aislantes.

Figura 6. Termograma de una red de distribución eléctrica



4.4 Termografía aplicada a la construcción

Aplicada a la construcción, las imágenes obtenidas representan la distribución superficial de la temperatura de las zonas inspeccionadas, y permiten obtener información sobre:

- Fugas térmicas y humedades
- Heterogeneidades de materiales
- Ubicación de elementos metálicos o de hormigón armado ocultos tras cerramientos.
- Evaluación cualitativa de diferencias en el estado de conservación de materiales.

Figura 7. Termograma de recipiente sometido a alta presión



4.5 Termografía aplicada a la industria de procesos

La existencia de zonas calientes en los elementos de instalaciones que trabajen a un nivel térmico medio o alto, se corresponden normalmente con:

Pérdida o degradación de aislamiento, tanto interno (refractarios), como externos.
Zonas afectadas por corrosión, soldaduras defectuosas, obstrucciones y fugas, etc.

La identificación de las zonas afectadas, así como el nivel térmico de los daños, constituyen la información necesaria para decidir sobre su posterior reparación.

Figura 8. Termograma de motor eléctrico



5. ESTUDIO DE TERMOGRAFÍA A SISTEMAS ELÉCTRICOS

5.1 Consideraciones de las inspecciones térmicas

Según el manual de MAPFRE industrial de la sociedad anónima de seguros en la sección de inspección de instalaciones generales, sugiere las siguientes consideraciones:

Ambiental: accesibilidad, condiciones climáticas.

Seguridad: señales de precaución, indumentaria (equipo de protección).

Si es en equipo eléctrico para un cuarto eléctrico o subestación:

- **Accesibilidad:** para ingresar debe haber un área de trabajo para evitar algún tipo de contacto con el mismo a plena carga debido a que las tomas se hacen con el equipo energizado.
- **Condiciones climáticas:** debe haber un ambiente seco sin agua en el suelo debido a que éste es un excelente conductor, lo cual hace riesgosa una inspección.
- **Señales de precaución:** debe haber una buena señalización en las instalaciones eléctricas, y se debe permitir el ingreso únicamente al personal capacitado en equipo eléctrico.

- **Indumentaria:** el equipo de protección que se debe usar para evitar cualquier tipo de accidente es: casco de protección para la cabeza, lentes de protección para los ojos, botas aislantes, ropa no combustible (lona, algodón) y de preferencia no usar cualquier tipo de alhajas.

Si es en equipo mecánico:

- **Accesibilidad:** debe haber una distancia adecuada de trabajo entre la máquina y el operador para tratar con el equipo mecánico. Las máquinas deben estar correctamente colocadas y ensambladas, en caso haya que remover cualquier pieza de protección del equipo mecánico para poder realizar cualquier tipo de análisis o trabajo. Hay que cercar el área de trabajo para así evitar el pasaje de personas ajenas a la actividad.
- **Condiciones climáticas:** debe haber un ambiente seco sin agua en el suelo para evitar así cualquier resbalón que pueda ser resultado de un accidente, pero si el ambiente está húmedo, que sucede en algunos casos, utilizar calzado especial contra resbalones (suela antideslizante).
- **Señales de precaución:** debe haber una buena señalización, así como el ingreso únicamente al personal capacitado en el equipo.
- **Indumentaria:** el equipo de protección que se debe usar para evitar cualquier tipo de accidente es: casco de protección para la cabeza, lentes de protección para los ojos, ropa no combustible (lona, algodón), botas con punta de acero y antideslizantes, tapones de protección auditiva y de preferencia no usar cualquier tipo de alhajas, en áreas donde hay mucha partícula (polvo o cualquier tipo de material que pueda perjudicar con la salud del trabajador) suelta en el aire, utilizar mascarilla.

5.2 Peligrosidad en instalaciones eléctricas

El riesgo de incendio o explosión y accidentes provocado por las instalaciones eléctricas se presenta cuando se origina alguna de las circunstancias siguientes:

- Incorrecto diseño o ejecución de la instalación.
- Utilización inadecuada de las instalaciones o aparatos eléctricos.
- Ampliaciones incorrectas o provisionales de las instalaciones.
- Incompatibilidad de las instalaciones o aparatos eléctricos.
- Falta de previsión de riesgos electrostáticos.
- Falla de aislamientos.

Las situaciones mas peligrosas se suelen dar cuando se presentan cortocircuitos, y más si estos van acompañados de arcos eléctricos.

Los cortocircuitos por lo general se deben a sobre tensiones. Una de las causas más frecuentes que provocan cortocircuitos son las agresiones a los aislamientos tales como:

- Roturas producidas por aristas o elementos cortantes.
- Agresiones externas, como golpes por paso de vehículos.
- Roturas por causa de vibraciones, fijaciones sobre tensadas, etc.
- Desgastes por rozamiento continuo.
- Agresiones térmicas o químicas, por contacto con disolventes, presencia de vapores o gases, o causas climatológicas.
- Agresiones biológicas producidas por roedores, bacterias.
- Calentamientos en los conductores provocados por sobre intensidades producidas por cualquier motivo.
- Grietas en el aislamiento del envejecimiento.
- Contactos defectuosos.

5.3 Sistema A. *Echotherm*

El *Echotherm* es un sistema de vanguardia para el desarrollo y aplicación de la termografía infrarroja activa (dependiente en el tiempo) con la finalidad de poder resolver problemas reales en la industria de la aviación, aeroespacial, automotriz, militar, de energía, y de los materiales en general.

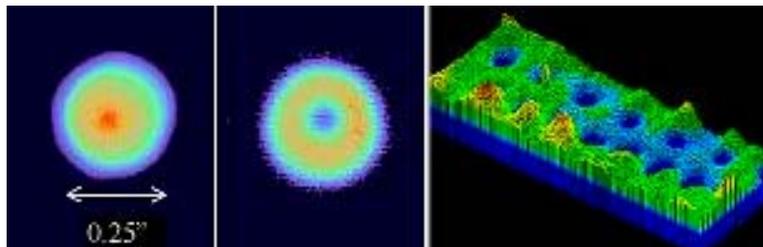
También el *Echotherm* puede ser usado en aplicaciones en el área de inspecciones de oleoductos, gasoductos, cañerías en general y en procesos industriales totalmente automatizados. Científicos de los principales laboratorios de investigación del mundo utilizan el *Echotherm*.

Echotherm está basado en *Windows NT* y su *hardware* es compatible con todas las cámaras infrarrojas de marca líder. Se incluye las digitales, las de alta velocidad y resolución ensambladas con detectores de formación plana. *Echotherm* provee una medida cuantitativa identificando defectos bajo superficie, mejorando significativamente la forma de las cámaras infrarrojas. Las figuras 9 y 10 muestran este sistema y las formas en que diagnostica.

Figura 9. Sistema *Echotherm*



Figura 10. Termograma de soldadura por puntos



Soldadura por puntos

Corrosión

5.4 Sistema B. *Thermo Scope*

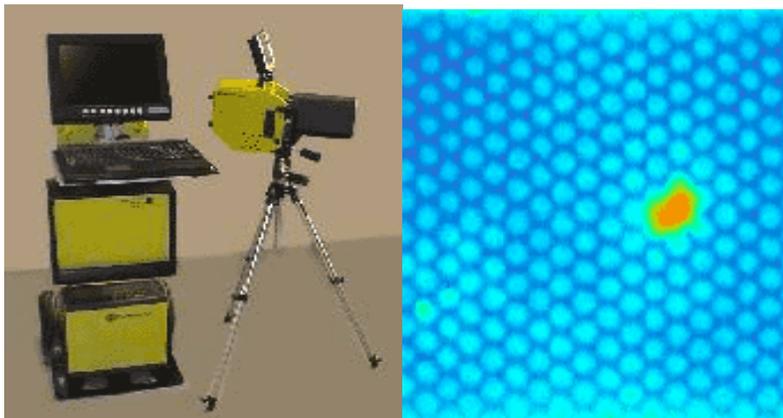
El sistema *Thermo Scope* ofrece una forma sin precedentes. Es una unidad compacta diseñada más específicamente para aplicaciones de campo. *Thermo Scope* ofrece el poder de un sistema de laboratorio en un conjunto que puede ser sostenido con las manos.

- Integrado: adquisición, procesamiento y análisis.
- Equipo liviano con la posibilidad de adaptar cualquier cámara.
- Análisis automático de la imagen para decisiones puntuales.
- Avanzado procesamiento de la señal para el caso de las cámaras infrarrojas análogas.
- Simple operación con botones de interfase.

Unidad compacta tanto para el transporte como para operaciones de campo.

- Compatible con todas las cámaras infrarrojas líderes del mercado.
- Análisis cuantitativo del defecto tanto para el área que ocupa como su ubicación en profundidad.

Figura 11. Sistema integrado: las lámparas flash de calentamiento, la obtención y análisis de la imagen en una única y portable unidad



5.5 Sistema *Thermagram*

Es un sistema de procesamiento de imágenes infrarrojas en tiempo real. Al combinarlo con las cámaras radiométricas y no radiométricas, *Thermagram* ofrece análisis de imágenes térmicas de alta precisión con una amplia variedad de aplicaciones y utilidades. *Thermagram* proporciona todas las mediciones de temperaturas en unidades seleccionables por el usuario o en iluminación para las cámaras Merlín no radiométricas.

La portabilidad y el precio prohibitivo de estos sistemas aseguraron que durante muchos años ellos permanecieran en el reino de consultores o las aplicaciones críticas como los sistemas aeroespaciales. Actualmente, los sistemas de termografía son económicos y fáciles de usar por el mantenimiento y condición, ya que supervisan al personal a lo largo de una gama amplia de industrias.

5.6 Instrumentación de termografía

5.6.1 Mesa de detectores de infrarrojos

Evalúa detectores infrarrojos, formaciones lineales y formaciones planas focales. Rápido, fácil y preciso para reconfigurar en los siguientes modos del ensayo el modo de *Flood*, modo de *Focused*. La figura 12 muestra este equipo de trabajo.

Figura 12. Mesa de detección termográfica



El modo de *Collimated*:

- Alta precisión en los resultados de los ensayos
- Para uso en laboratorios o en líneas de producción
- Puede ser integrado con la mayoría de los sistemas de adquisición de datos
- Alcances

5.6.2 Termómetros diferenciales de precisión

- Fácil de usar
- 0.001° de resolución de temperatura
- Muestra dos temperaturas y su diferencia
- Precisión y estabilidad
- Salida para registrador

Figura 13. Termómetro diferencial de precisión



5.6.3 Termómetros infrarrojos portátiles para diagnóstico y solución de problemas

5.6.3.1 *Mini Temp*

Lo suficientemente pequeño para caber en el bolsillo, cuenta con pantalla iluminada y mira láser de un punto (Modelo MT4) para ayudar a apuntar a su objetivo. *El Mini Temp* es perfecto para aficionados de automovilismo y mejoras en el hogar. Se usa para ahorrar costosas pérdidas de energía alrededor de ventanas y puertas, para verificar sistemas de aire acondicionado y monitorear temperaturas alrededor de la casa y el taller. Es rápido y fácil de usar.

5.6.3.2 Serie *STPro*

Con un amplio rango de temperatura y óptica mejorada para medir temperaturas a gran distancia o medir objetos más pequeños desde la misma distancia, el *STPro* ofrece una combinación de precisión y valor para los profesionales. Las características estándar incluyen una robusta protección de goma y un durable estuche de plástico para almacenarlo.

5.6.3.3 Serie *MX*

Un amplio rango de temperatura desde -30°C a 900°C (-22°F a 1652°F), óptica superior de 60:1 para medir desde grandes distancias u objetos pequeños y el brillante sistema de mira láser coaxial de tres puntos, hacen a la serie *MX* el más avanzado termómetro portátil en la industria. El sistema de mira láser coaxial provee un incomparable preciso rastreo por infrarrojo, resultando en mediciones más exactas para lecturas críticas.

5.6.3.4 Serie 3I

La serie 3I está disponible en una amplia variedad de rangos de temperatura, opciones de mira, alcances de ópticas, y ofrece respuesta espectral para encontrar las necesidades en aplicaciones industriales específicas. Estas unidades están cuidadosamente acopladas para un óptimo desempeño, y cuando se miden temperaturas críticas en objetivos muy distantes o temperaturas extremadamente altas arriba de 3000°C ó 5400°F. Con el Raynger 3I, se tiene opción de escoger entre modelos de mira láser de un punto, doble láser, láser cruzado y mira telescópica.

5.7 Ventanas infrarrojas

Las ventanas infrarrojas H.VIR se fabrican en forma estándar con geometría circular en los diámetros 2", 3" y 4" con cristal tanto transparente a la onda corta (70/80/100) como a la onda larga (75/85/105).

Los metales son opacos 100% a la radiación infrarroja. Los materiales transparentes al visible que se instalan en los tableros tanto como el cuarzo, el plexiglás, poli carbonato, el cristal, etc. Son también opacos a la radiación infrarroja mayor de 2 micrones, por lo tanto, no puede realizarse la inspección a través de ellos.

Las ventanas infrarrojas se instalan en superficies planas, fijas y en forma permanente tanto en celdas o gabinetes nuevos o usados. Cada ventana viene provista con plantilla adhesiva patrón para que el montaje sea realizado con la mayor precisión.

La medición de temperatura sin contacto a través de las ventanas infrarrojas puede realizarse por medio de un termómetro infrarrojo como con una cámara infrarroja. Únicamente hay que respetar la compatibilidad de sensibilidad del instrumento con la de la transmisión de la ventana.

Las ventanas de onda larga también tienen buena transmisión en onda corta y a su vez las de onda corta también tienen transmisión parcial en onda larga. La onda corta corresponde a la ventana atmosférica de 2 a 5.5 micrones (infrarrojo medio) y la onda larga a la ventana atmosférica de 7 a 12 micrones (infrarrojo lejano).

La ubicación de las ventanas en los gabinetes depende de las dimensiones del mismo, profundidad de los componentes y del tipo de observación que se quiera realizar en su interior. La observación puede ser directa o indirecta (por radiación reflejada). Cada caso debe ser analizado teniendo en cuenta las leyes de radiometría, la geometría de la celda, las lentes de la cámara, el diámetro de la ventana, etc. La instalación de las ventanas en las mismas debe respetar asimismo las normas de seguridad en particular de cada industria y las del fabricante del componente eléctrico que se trate.

Las ventanas vienen protegidas con una cubierta de plexiglás, la cual debe ser removida únicamente al momento de realizar el ensayo. Esta protección previene de ralladuras o depósito de polvo etc. La limpieza del cristal transparente al infrarrojo debe realizarse únicamente con alcohol metílico.

Las ventanas infrarrojas pueden utilizarse en otras aplicaciones las cuales su factibilidad previamente debe ser evaluada respetando las especificaciones técnicas o con otras especificaciones a pedido. Asimismo, pueden fabricarse en otra geometría que no sea la circular. Las mismas han sido diseñadas para ser utilizadas en cerramientos normales a las temperaturas ambientes.

El manipuleo, maltrato, la instalación o la utilización incorrecta de este producto es responsabilidad del usuario.

5.7.1 Aplicaciones

- Aparatos y componentes de baja, media y alta tensión.
- Instalaciones de maniobra de baja, media tensión y alta tensión.
- Paneles interruptores.
- Cajas bornes transformadores de potencia.
- Conductos de barras.
- Centro de control de motores.
- Bornes de generadores.
- Bornes de motores.
- Conexiones.
- Gabinetes cerrados de baja, media y alta tensión.
- Paneles de comunicaciones.
- Equipamiento para la distribución de energía eléctrica general.

5.7.2 Ventajas

Inspección de termografía infrarroja de una manera segura, eficiente y económica. La termografía infrarroja en media y alta tensión se convierte en una inspección no intrusiva 100%. Se puede realizar la inspección de gabinetes cerrados y protegidos.

Requiere de menor cantidad de personal para realizar el ensayo infrarrojo. Abrir y cerrar celdas energizadas requiere de muchas horas hombre. Asimismo, en este caso los riesgos en el trabajo son muy altos.

Sin las ventanas infrarrojas la medición de temperatura también trae aparejada la probable interrupción del servicio por la apertura de los gabinetes. En algunos casos, inclusive los gabinetes no tienen acceso alguno. Con las ventanas se puede realizar la medición de temperatura en paneles de media tensión en cualquier momento y con resultados muy precisos.

Mejora la forma operativa de las instalaciones disminuyendo sensiblemente los riesgos de las paradas no programadas. Evita las paradas de planta y por lo tanto la caída de la productividad y el lucro cesante.

Evita siniestros y previene accidentes. Reduce las primas de seguro por la realización de termografía en media tensión y alta tensión. Reduce las primas de seguro por disminución de los riesgos en el trabajo.

5.8 Cámaras de termografía

La cámara infrarroja tiene como principal objetivo detectar la temperatura a un objeto de estudio y esto se logra por medio de un lente infrarrojo el cual detecta las radiaciones que emite un objeto interpretándolas en calor por lo que cualquier cambio de temperatura es visualizado fácilmente. Esta cámara almacena imágenes infrarrojas y digitales.

5.8.1 Funcionamiento de las cámaras infrarrojas

Una cámara infrarroja de termografía es un artefacto que sin tener contacto físico, detecta la energía infrarroja (calor) del cuerpo y la convierte en una señal electrónica, la cual es procesada para producir una imagen de televisión o de vídeo.

Captar el calor por la cámara infrarroja puede ser cuantificado o medido en una forma precisa, permitiendo no sólo realizar monitoreo térmico, sino también identificar y evaluar la temperatura del equipo.

Los fotones infrarrojos van del objeto hacia el detector y lo impactan. Los cambios de actividad en el detector son medidos. La cámara posee cinco sensores internos de temperatura lo cual la hace muy precisa y sensible para mediciones de temperatura. Primero, el objeto es captado por la cámara y pasa a través del lente donde la imagen pasa por una serie de espejos barridos introduciéndole con una paleta de referencia, después pasa por el detector.

Existen dos tipos de detectores que son el de Microbolómetro que proporciona una mejor calidad de imagen en cámaras de medición radiométricas, es decir, son capaces de analizar aproximadamente 76,000 puntos por medición. El ferro eléctrico proporciona una inferior calidad de imagen analizando un punto por medición.

5.8.2 Cámaras Merlin

- Detector de plano focal de 320 x 256 para imágenes de alta resolución.
- Alcance completo de opciones del detector de plano focal para NIR, MWIR o LWIR .
- El tiempo de integración variable evita la saturación de imagen .

- Frecuencia de cuadro de 60 Hz para aplicaciones en tiempo real.
- Diseño de electrónica de bajo ruido para aplicaciones de alta sensibilidad
- Interfases de software y eléctrica comunes entre las distintas cámaras.
- Elección entre sistemas de cámaras de imágenes o radiométricas.

Las cámaras de termografía ofrecen esto y mucho más. Desde la espectrografía de infrarrojo cercano hasta el control de proceso que utiliza infrarrojos de longitud de onda larga, la sorprendente variedad de aplicaciones demuestra que solamente un tipo de cámara infrarroja no resulta suficiente para suministrar los resultados necesarios para cada aplicación. Por esto se diseñó la familia de cámaras Merlín con más opciones y flexibilidad que cualquier otra cámara infrarroja comercial de alto rendimiento.

En realidad, Merlín ofrece una combinación inigualable de características mejoradas de fábrica y adaptables al campo, que incluyen, banda de longitud de onda, óptica de imagen, tiempo de integración variable y el programa de procesamiento de datos. Esto significa que Merlín puede adaptarse perfectamente a cada aplicación.

Merlín se ofrece con una opción completa de detectores de plano focal (FPAs) de bajo ruido que cubren todas las bandas espectrales infrarrojas. Estos incluyen detectores InGaAs, InSb y tipo microbolómetros sin enfriamiento.

Estos FPAs tienen por soporte una amplia variedad de opciones de enfriamiento: estabilización termoeléctrica (TE) (InGaAs y microbolómetros) y nitrógeno líquido o enfriamiento criogénico Stirling (InSb) y se encuentra disponible una amplia variedad de lentes infrarrojos intercambiables para cada alcance de longitud de onda que incluyen ópticas microscópicas y telescópicas.

Todas las cámaras Merlín operan a una frecuencia de cuadros de 60Hz (50 Hz PAL) con un tiempo de integración ajustable a un programa o iris electrónico para acomodar una amplia variedad de niveles de flujo.

Ambos modelos, radiométricos y no radiométricos, se encuentran disponibles con la opción del programa radiométrico *Thermagram* o con el programa de procesamiento de datos digitales Talón. Los datos digitales se generan y procesan a una resolución completa de 12 bits.

Figura 14. Fotografía de cámara Merlín



5.8.3 Adquisición y análisis de datos radiométricos en tiempo real

Las aplicaciones de análisis incluyen los siguientes detalles:

- Aplicaciones de puntos de temperaturas para mostrar la temperatura en un punto de la imagen.
- Aplicaciones de isotermas para colorear áreas de una imagen dentro de una banda de temperatura definida.

- Aplicaciones de línea para utilizarse como objetos o reglas gráficas, o para mostrar las temperaturas máximas, mínimas o medias a lo largo de una línea o junto con la aplicación de perfil para mostrar el perfil de temperatura a lo largo de la línea en una ventana separada.
- Aplicaciones de perfil en pantalla, que superponen la imagen de un perfil de temperatura sobre la imagen misma.
- Aplicaciones de polígonos, de elipses y de rectángulos para utilizarse como objetos gráficos o para mostrar las temperaturas máxima, media y mínima en una región y junto con la aplicación de histograma, para mostrar un gráfico tipo barra o pastel que muestra la distribución de la temperatura dentro de la región.
- Aplicaciones diferenciadores para mostrar diferencias entre las temperaturas medidas por otras aplicaciones.
- Etiquetas para identificar puntos dentro de la imagen.

La aplicación Positrak se utiliza para medir distancias al imponer un sistema coordinado por medio de marcas de alineación. La figura No. 15 representa un esquema del infrarrojo de las cámaras de termografía.

Figura 15. Esquema del infrarrojo de las cámaras de termografía

Cámaras Infrarrojas (gris) y Núcleos para Cámaras Infrarrojas (azul)
Detector refrigerado (letras amarillas) - Detector No refrigerado (letras celestes)

Raytheon

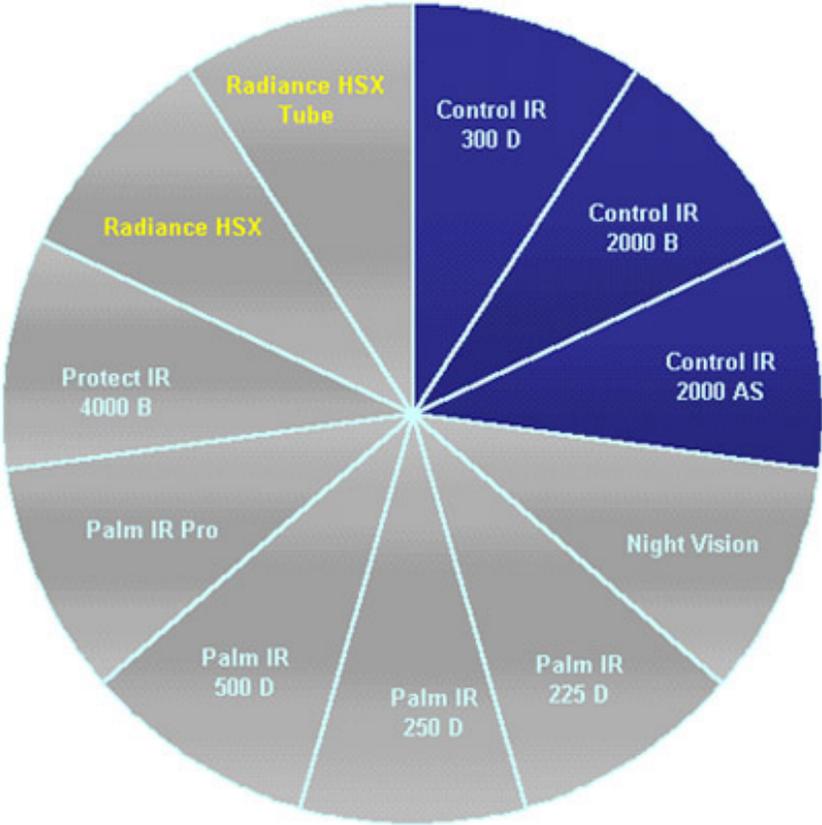


Figura 16. Diferentes tipos de cámaras termográficas



5.9 Estudio de termografía a un sistema eléctrico en la industria

5.9.1 Equipo eléctrico

El equipo eléctrico es el encargado de hacer funcionar la planta dando carga a las máquinas por medio de la electricidad. El equipo sujeto de estudio en este caso es un tablero de compresores y una impresora Invemo.

- Banco de capacitores (contactos y flipones trifásicos pertenecientes al mismo).
- Tablero de compresores (flipones monofásicos y trifásicos).
- Tablero de impresora (contactores y flipones).

5.9.2 Encargado de mediciones termográficas

Es el encargado de medir por medio de una cámara infrarroja la temperatura del equipo a inspeccionar e interpreta esta información para luego obtener resultados. El termógrafo es certificado nivel 1 bajo el ITC (*infrared training center*) ubicado en la ciudad de Boston Massachussets, Estados Unidos.

Este entrenamiento es impartido a personas que se encargan de hacer mediciones por medio de la cámara infrarroja, para saber su uso correcto e interpretar la información que obtienen por medio de ésta para tener un buen criterio sobre lo que esta bien o mal, así mismo, cómo poder utilizar perfectamente el reporte final para entregar los resultados. Este es externo a la industria del cual se hizo el estudio.

5.9.3 Factores para mediciones correctas de temperatura con termografía

5.9.3.1 Tres ajustes claves

Los tres ajustes claves para hacer mediciones correctas son:

- **Enfoque:** consiste en hacer que la imagen de un objeto obtenida de un aparato óptico se produzca exactamente en un plano u objeto determinado, una toma fuera de enfoque diluye la diferencia de temperatura.
- **Rango:** es la amplitud de la variación de un fenómeno entre un límite menor y uno mayor claramente especificados.
- **Distancia de operación:** ésta se encuentra debido a que se tendrá la temperatura más exacta posible en la que se encuentra el objeto, una distancia demasiado larga del punto caliente causa lecturas más bajas por lo que se recomienda que hay que acercarse al objeto lo más que se pueda teniendo en cuenta la relación distancia y punto de observación.

Estos tres ajustes son claves, debido a que errores en cualquiera de éstos pueden resultar en mediciones incorrectas.

5.9.3.2 Cuatro factores críticos

- **Corrección de la emisividad:** la emisividad es la característica que tiene un objeto determinado de absorber y reflejar calor. Esto es un factor clave para así poder tener la temperatura más exacta posible debido al tipo de material de estudio, si este es altamente reflectivo o si es opaco. Los parámetros de emisividad van de 0.1 a 1 dependiendo del tipo de material.

- Tomar en cuenta la carga del equipo: si el equipo se encuentra a plena carga se sabrá la temperatura real del mismo, a menor carga no se conocerá la temperatura real máxima del problema.
- Entender la diferencia entre mediciones directas e indirectas: con esto se refiere a que las mediciones directas son las que se encuentran sin ningún recubrimiento, están totalmente expuestas, mientras que las indirectas no están expuestas sino que existe un cuerpo intermedio al que se le transmite el calor.
- Entender los efectos y limitaciones que nos produce el clima.

5.9.4 Meta de inspección

Esta inspección tiene por meta detectar con la termografía por infrarrojos los puntos o bien los componentes que presenten unas elevadas temperaturas, para asegurar las intervenciones sobre el mantenimiento.

El informe de la inspección vuelve a tomar los puntos con defectos señalados, durante nuestra inspección, material puesto en obra, cámara S.W./3,5 hasta 5.6 micras, un monitor de medidas, un sistema informático de adquisición y tratamiento de datos, los accesorios necesarios, constitución del expediente, un camino de visita.

El camino de visita es un documento de base para el establecimiento de la totalidad de los puntos visitados "con o sin defectos". En la lista de componentes que tienen, ficha de inspección.

Esta ficha precisa para cada situación, el nombre de los puntos inspeccionados y también el nombre de los defectos encontrados.

5.9.4.1 Las fichas de inspección

Estas fichas permiten hacer inventarios de los defectos encontrados durante la inspección. Un tablero de clasificación de la seriedad, permite asegurar un continuo mantenimiento, gracias a nuestros parámetros de cálculo.

La organización del expediente (camino de visita, ficha de los defectos) ha sido realizada sobre el emplazamiento.

5.9.4.2 Reporte de resultados de los análisis termográficos

El reporte de resultados es generado por un *software* de computadora y es llamado *Irwin Report*. En este reporte se pueden analizar cada uno de los objetos observados por medio de la cámara de termografía indicando las temperaturas máxima, media y mínima encontradas. También proporciona la opción de colocar la emisividad a los objetos observados una gráfica de perfil para observar la diferencia de temperatura que se encuentra el objeto respecto a los demás.

Además proporciona la fecha y hora de creación, así mismo, se puede ingresar parámetros de localización del equipo inspeccionado así mismo, como una observación para que sea más fácil de comprender el análisis.

5.9.4.3 *Software Irwin Report*

Este *software* tiene como función interpretar la información obtenida por la cámara infrarroja. Creador de reportes personalizados, la persona puede personalizar por medio de este *software* el reporte de resultados.

Este reporte contiene:

- Foto termográfica, para visualizar el punto caliente.
- Foto digital, para visualizar la imagen.

- Fecha de creación.
- Hora de creación
- Emisividad y distancia al objeto.
- Temperatura ambiente, áreas máximas y mínimas.
- Falla, para saber el tipo de falla que presenta el objeto.
- Sección, determinará a donde pertenece el objeto.
- Equipo, para saber que equipo se está estudiando.
- Información adicional, cualquier comentario extra del objeto.
- Una gráfica de tendencias, para comparar la temperatura contra el objeto.
- Una recomendación, un comentario de lo que se recomienda hacer.

5.9.5 Parámetros y guías

Las siguientes guías han sido obtenidas de fuentes publicadas por el Centro de Entrenamiento de Infrarrojo (ITC) de Boston, MA. Las cuales provienen de normas publicadas por ASTM, IEEE e IEC. Las mismas se aplican de acuerdo a cada situación, por lo que se sugiere utilizarlas con sentido común por cada usuario.

5.9.5.1 Niveles de acción para el equipo eléctrico

| CATEGORÍA | INCREMENTO DE TEMPERATURA | TIEMPO DE REPARACIÓN | COLOR |
|-----------|---------------------------|----------------------|----------|
| Menor | 1 °C a 10 °C | Tiempo programado | Azul |
| Moderada | 10 °C a 35 °C | 2 – 4 semanas | Verde |
| Seria | 35 °C a 75 °C | 1 - día | Amarillo |
| Crítica | Arriba de 75 °C | inmediato | Rojo |

Para el equipo mecánico se usará la misma simbología, sólo que en este caso las categorías se clasificarán de acuerdo al medio ambiente de operación.

5.9.5.2 Procedimiento operativo

Todos los componentes objeto de la inspección fueron visualizados en toda su superficie, desde las zonas adyacentes, buscando una máxima definición de la imagen térmica.

En los puntos más característicos en los que la temperatura es considerada como anormal, se obtuvo también una fotografía del termograma. En algunos de estos puntos, se obtuvo también una fotografía real del componente, al objeto de su correcta identificación, para una rápida reparación y así evitar averías de magnitud imprevisible. El procedimiento utilizado para el estudio práctico de termografía en la industria fue el siguiente:

- Se recorrió al lugar de estudio.
- Se conoció el equipo a inspeccionar.
- Se entrevistó al ingeniero de mantenimiento.
- Se conoció la situación actual del equipo.
- Entrevista al encargado de las mediciones termográficas.
- Se realizó primer análisis termográfico.
- Se interpretó los resultados del primer análisis.
- Se realizó segundo análisis termográfico después de un mes realizado el primero.
- Se interpretó los resultados del segundo análisis.
- Se pasó a las conclusiones y recomendaciones dadas en el termograma.

Para su realización se observó el equipo eléctrico, se desarrolló una entrevista al ingeniero de mantenimiento eléctrico para informar acerca de cómo se encontró en ese momento el equipo, asimismo, se hizo un recorrido por la planta para conocer mejor el equipo y familiarizarse con éste. Luego se realizó una entrevista al encargado de las mediciones termográficas acerca de cómo se aplica mejor la termografía infrarroja en el ámbito del equipo eléctrico para así tener mejor conocimiento de éste.

También se hicieron mediciones de temperaturas por medio de la cámara infrarroja, la cual detectó y observó el estado del equipo eléctrico en operación, para ello, el equipo eléctrico tuvo que estar en carga u operación para así obtener el calentamiento en su punto máximo.

Luego, en base al análisis hecho por la termografía, se interpretó los resultados obtenidos para luego poder presentarlos. Los análisis y las interpretaciones de los resultados obtenidos de dichos análisis se realizaron en un período aproximado de tres meses que es equivalente a tres visitas, para poder así llevar un seguimiento periódico del equipo eléctrico y observar en cada visita si se mejoró en el mismo.

En base al estudio de termografía que se realizó, se dio a conocer las interpretaciones en unos cuadros llamados termogramas que se presentan más adelante. Estos muestran las tonalidades de las temperaturas de tonos más oscuros a más claros y muestran los grados de severidad, en el mismo termograma muestra las conclusiones y recomendaciones que se deben de tomar en el equipo eléctrico.

Dichos termogramas muestran que las tonalidades más oscuras son las más frías y las tonalidades más claras son las más calientes. Se puede ver que los termogramas que se muestran en las figuras 18, 19 y 20, el color azul muestra un *Spo* (punto) frío,

mientras que el color amarillo muestra un *Spo* o punto caliente, con esto se muestra como varían las tonalidades de los color

5.9.5.3 Cámara termográfica utilizada para el estudio del sistema eléctrico

La cámara utilizada para el estudio detecta los puntos calientes en cuestión de segundos. La sensibilidad de la cámara a 30 grados centígrados es de 0.10°C . El rango de temperaturas es de -20 grados a más de 800°C . contiene en la imagen una área la cual encierra al objeto de estudio definiendo las temperaturas máximas, media y mínima del objeto.

La cámara tiene un almacenamiento de imágenes por medio de una tarjeta tipo *pc-card* de alta capacidad, compatible ATA con anotación de voz de 30 segundos anexos para cada imagen.

Dentro de sus características físicas la cámara infrarroja tiene un peso de 2.3 Kg. con baterías y tiene dimensiones de 220mm x 133mm x 140mm. La presentación de la imagen contiene un visor incorporado con pantalla LCD de alta resolución. Las baterías son de tipo internas recargables de níquel-metal híbrido con un tiempo de operación de dos horas y un tiempo de carga de una hora.

El detector que tiene es de tipo arreglo del plano focal sin enfriamiento, Microbolómetro 320 x 240 píxeles y un rango espectral de 7.4 a 10 micrómetros. Por último, el desempeño de la imagen es de una función de *zoom* electrónico de 4X continuo, frecuencia de imagen de 50/60 Hz no entrelazados, sensibilidad térmica de 0.1 a 30°C , resolución espacial de 1.3 mrad y un campo de visión/ distancia mínima de enfoque de 24 grados x 18 grados / 0.5 metros.

La cámara infrarroja es capaz de tomar en cuenta la temperatura del entorno como lo es la temperatura ambiente, temperatura atmosférica, humedad relativa, distancia y emisividad así como temperatura de referencia. Este tipo de cámara es llamada *THERMACAM PM 595*.

Las especificaciones se encuentran en el anexo. La figura 17 muestra las partes físicas de la cámara utilizada para el estudio termográfico.

Figura 17. Thermacam PM 595

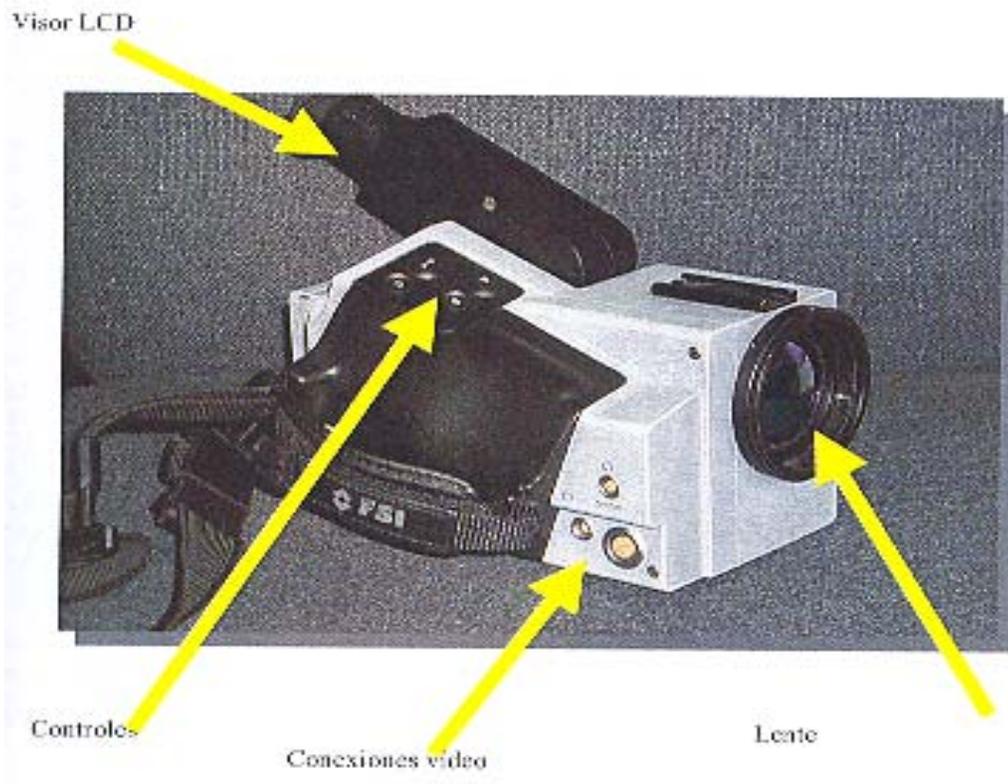


Figura 18. Partes de un termograma

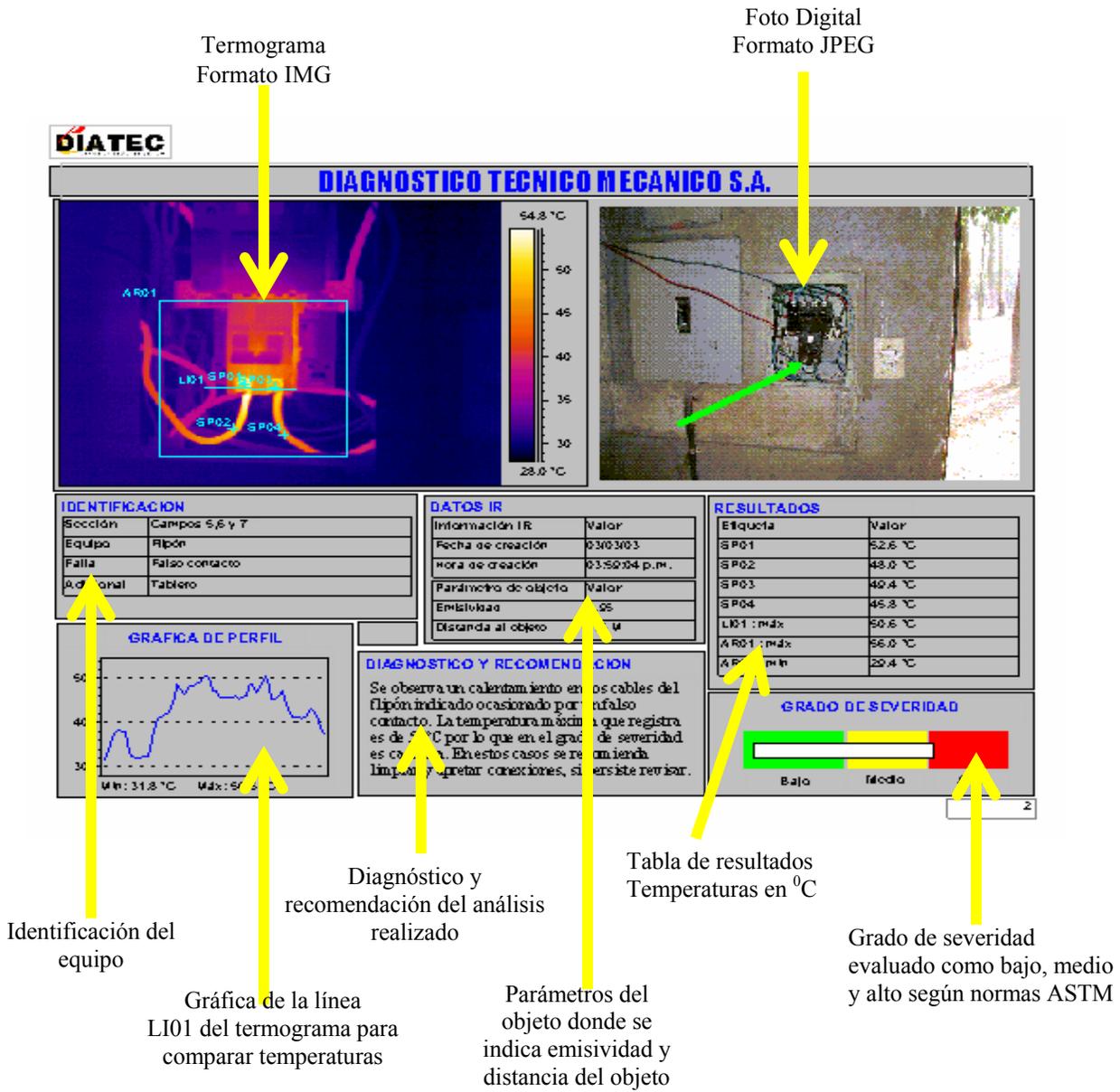


Figura 19. Termograma realizado a un tablero de compresores

Muestra identificación del equipo, grado de severidad, diagnóstico y la recomendación necesaria para catalogar al equipo.

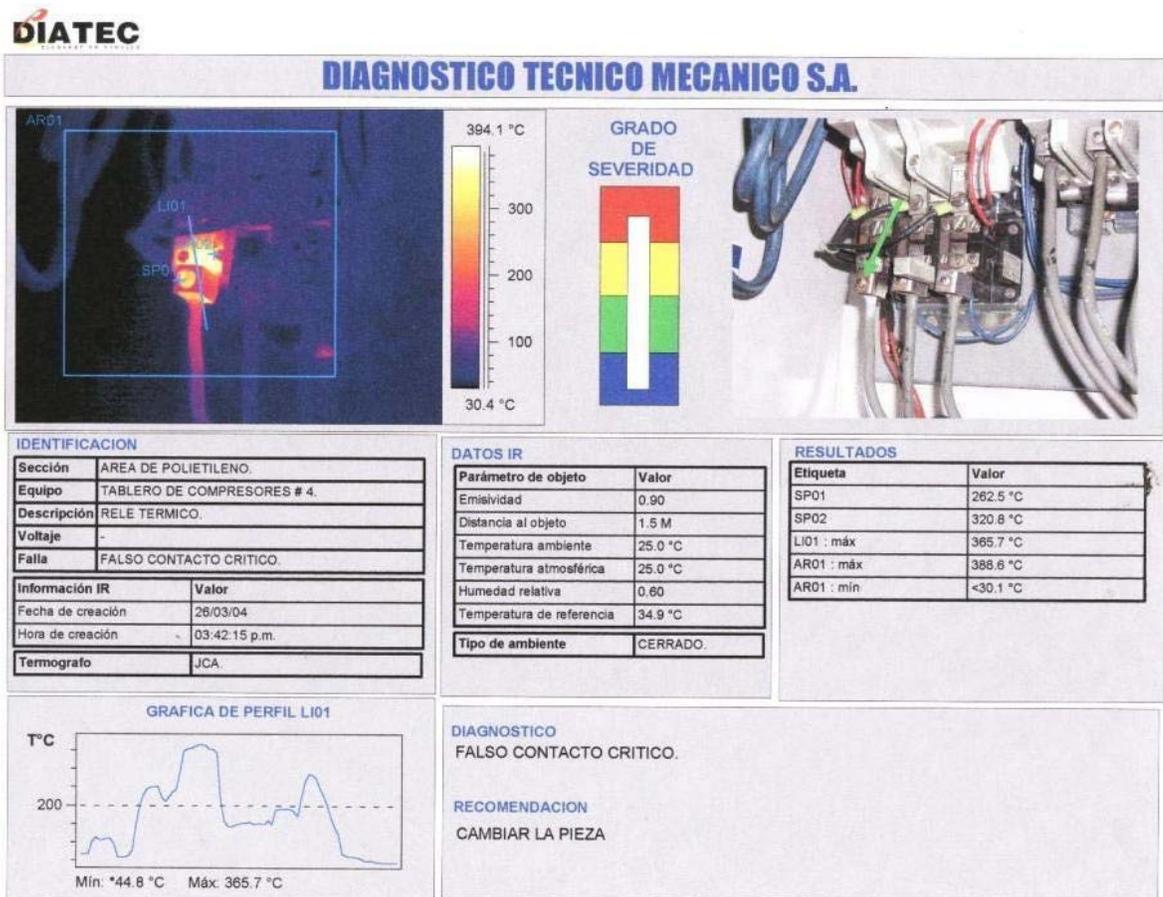


Figura 20. Termograma realizado al tablero de compresores

En este termograma existe solamente un punto (SPO) de temperatura, en el anterior existe una diferencia entre puntos, lo cual exige diferentes clases de recomendación.

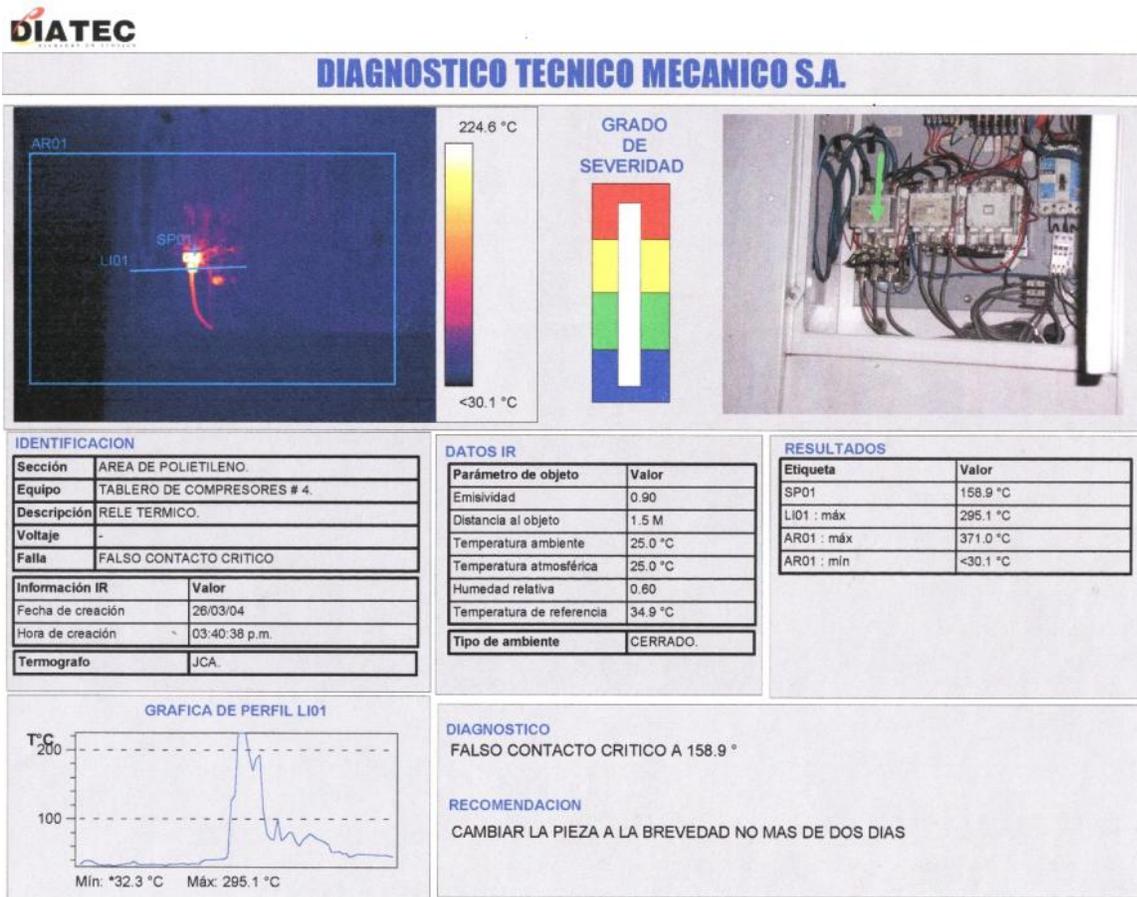
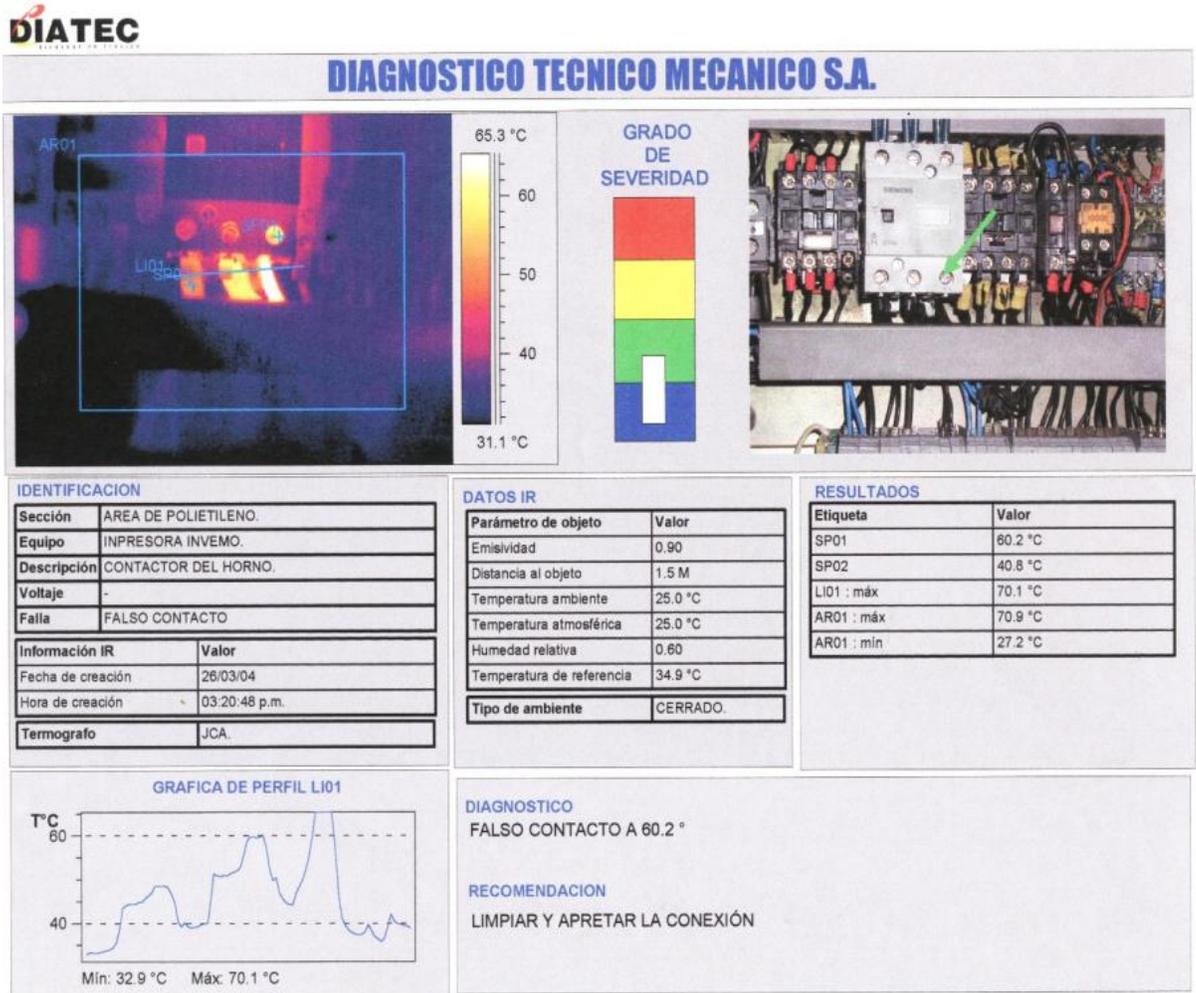


Figura 21. Termograma realizado a una impresora Invemo.

Se aprecia una diferencia entre puntos de temperatura (SPO) de 20°C



CONCLUSIONES

1. La termografía se puede definir como el estudio que consiste en la detención del calor que emite un objeto, el cual se puede medir a través del uso de una cámara infrarroja. Este es un nuevo concepto de *outsourcing* orientado a todo tipo de industrias.
2. La finalidad es predecir los posibles problemas en equipos e instalaciones, sin necesidad de detener la maquinaria, y así poder detectar fallas antes de que ocurran para reducir costos debido a paros innecesarios, desperfectos mayores e inclusive hasta el paro total de una instalación.
3. Entre las principales ventajas de la termografía cabe señalar: (1) Los sensores no hacen contacto con el objeto, lo cual nos permite medir, desde una distancia de seguridad, altas temperaturas o bien registrar las temperaturas de una línea de alta tensión. (2) Los sensores presentan un tiempo de respuesta muy pequeña a la radiación térmica incidente, lo cual permite una medida casi instantánea.
4. Entre los beneficios de la termografía destaca: localizar problemas potenciales en subestaciones, tableros eléctricos, motores y evitar gastos de reparaciones mayores por fallas. Alargar la vida útil de motores y calderas, disminuir costos de reparación urgentes. Programar prioridades de mantenimiento, reducir tiempos de paros programados para mantenimiento correctivo.

5. La termografía es una herramienta del mantenimiento predictivo para diagnóstico de la condición en tiempo real, que tiene diferentes aplicaciones, entre las cuales se puede mencionar: sistemas eléctricos (líneas de transmisión de potencia, conexiones eléctricas, contactos y materiales aislantes), sistemas mecánicos (hornos, chimeneas, sistemas de alta presión etc.), en la construcción (fugas térmicas y de humedad, ubicación de elementos metálicos dentro del hormigón), y en la industria de procesos.

6. El mantenimiento predictivo (PM) proporciona la evidencia vital para tomar las decisiones y pasos para prevenir el éxito o fracaso de un proceso industrial. La termografía de infrarrojos es considerada como una de las técnicas predictivas más eficaces en el mantenimiento, tanto de equipos fijos como móviles.

RECOMENDACIONES

1. Hay que implementar un programa de mantenimiento predictivo, para asegurar el rendimiento y vida de los equipos. Este programa se mejorará si se implementa un sistema de termografía infrarroja.
2. Es necesario que el análisis de termografía lo realice personal especializado en el área de termografía infrarroja, ya que el equipo es muy delicado y de un elevado costo.
3. Se debe desarrollar un programa de documentación, que contenga manuales de operaciones de mantenimiento, de seguridad y de calidad, que permitan desarrollar, mantener y mejorar la producción de una empresa.
4. Se recomienda establecer un programa de mantenimiento predictivo, utilizar aparte de termografía infrarroja otros sistemas de ayuda como análisis de lubricantes, control y monitoreo de vibraciones, ultrasonidos, temperatura por infrarrojo y análisis de energía, ya que son programas de análisis que ayudan a la mejora continua de los equipos en la industria.
5. Se recomienda a todas las industrias que al tomar un programa de mantenimiento predictivo por termografía infrarroja y lo combinen con un mantenimiento preventivo, lo comparan con un programa de mantenimiento correctivo para obtener así un beneficio óptimo, dada la inversión que implica termografía infrarroja.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abularach, L.. El análisis de vibraciones mecánicas en el mantenimiento predictivo de los ventiladores de una torre de secado de detergentes. Tesis, Universidad Rafael Landívar. Guatemala,1999.
2. Aznar, J. Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para una planta de concreto asfáltico en caliente de tipo continuo. Tesis, Universidad Rafael Landívar, Guatemala, 1998
3. Diccionario Enciclopedia Encarta (1998/2003).
4. *ITC Course Manual Level 1 . Infrared Training Center. Pub ITC 038 B 2002-10-23. Maintenance Definitions, Key Elements for a PdM program, Maintenance strategies, PdM process.* Estados Unidos 2002
5. *Level 1 Course Manual . For New Users of Infrared Equipment or Anyone Who Seeks a Comprehensive Fundamental Course in Thermography. Infrared Training Center. Pub ITC 038 B 2002-10-23.* Estados Unidos, 2002.
6. Lloyd, J.M. *Thermal Imagin Systems.* ISBN 0-306-30848-7. Boston, MA. 1975
7. Madding, R.. *Thermographic Instruments and Systems. University of Wisconsin.*
8. Rosales, R. Manual del Ingeniero de Planta. Ed. McGraw Hill. Mexico, 1998

9. Sumanth, D. Administración para la productividad total. (1ra. Edición). México: Editorial CECSA.

10. Platero, E. Diseño e implementación de un programa de mantenimiento preventivo de maquinaria industrial a través de un paquete computarizado. Tesis, Universidad Rafael Landívar. Guatemala, 1999.

Sitios de Internet

11. DII (2003). Digital Infrared Imaging.
<http://dii-llc.com/About-ingrared-technology.html>

12. FlirSystems(2002). <http://www.flirthermography.com/l-america-sp/about/>
www.flir.com/hystory
www.flir.com/gallery

13. Infrared Training Center (2002). <http://infraredtraining.com/what-is-ir.asp>
<http://infraredtraining.com/gallery/>
Infrared (2003). <http://www.infrared.com/what-is-infrared.htm>

14. Indigo (2002). Indigo Systems.
<http://indigosystems.com/applications/industrial.html>

ANEXOS

ANEXO 1.

Tabla 1. Emisividades

Valores típicos de emisividades para materiales comunes

| Material | Temperatura ambiente del equipo | λ | Emisividad |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|
| Aluminio: anodizado | 20 ⁰ C | | 0.770 |
| Aluminio: hoja anodizada de cromo | 100 ⁰ C | | 0.55 |
| Aluminio: disco, áspero | 26 ⁰ C | 3 μ | 0.275 |
| Aluminio: disco, áspero | 26 ⁰ C | 10 μ | 0.180 |
| Aluminio: lámina | 26 ⁰ C | 3 μ | 0.09 |
| Aluminio: lámina | 26 ⁰ C | 10 μ | 0.04 |
| Aluminio: lámina, lado brillante | 20 ⁰ C | | 0.036 |
| Aluminio: altamente curado | 17 ⁰ C | 2-5.6 μ | 0.83 – 0.94 |
| Aluminio: pulido | | 8-14 μ | 0.05 |
| Aluminio: plato pulido | 23 ⁰ C | | 0.04 |
| Aluminio: hoja pulida | 100 ⁰ C | | 0.05 |
| Latón: empañado | | 8-14 μ | 0.22 |
| Latón: oxidado | 100 ⁰ C | | 0.61 |
| Latón: pulido | | 8-14 μ | 0.10 |
| Bronce: pulido | | | 0.10 |
| Cromo: pulido | | 8-14 μ | 0.10 |
| Cobre: pulido | 100 ⁰ C | | 0.05 |
| Cobre: pulido | 20 ⁰ C | 3 μ | 0.031 |
| Oro: pulido | | 8-14 μ | 0.02 |

| | | | |
|----------------------------|--------------------|-------|------|
| Oro: Altamente pulido | 100 ⁰ C | | 0.02 |
| Hierro: colado | | 8-14μ | 0.81 |
| Hierro: colado, pulido | 40 ⁰ C | 8-14μ | 0.21 |
| Hierro: colado, oxidado | 100 ⁰ C | | 0.64 |
| Hierro: rolado en caliente | | 8-14μ | 0.77 |
| Hierro: oxidado | | 8-14μ | 0.74 |
| Hierro: gris | | 8-14μ | 0.28 |
| Hierro: sin moho | | 8-14μ | 0.63 |
| Hierro: mohoso | | 8-14μ | 0.93 |
| Hierro: sin brillo | | 8-14μ | 0.08 |
| Magnesio: pulido | 20 ⁰ C | | 0.07 |
| Mercurio: puro | | 8-14μ | 0.10 |
| Níquel: con hierro colado | | 8-14μ | 0.05 |
| Níquel: oxidado | 200 ⁰ C | | 0.37 |
| Níquel: puro, pulido | | 8-14μ | 0.05 |
| Platino: pure, pulido | | 8-14μ | 0.08 |
| Plata: pulido | 100 ⁰ C | | 0.03 |
| Acero: galvanizado | | 8-14μ | 0.28 |
| Acero: polished | 100 ⁰ C | | 0.07 |
| Acero: oxidado | 200 ⁰ C | | 0.79 |
| Acero: fresado | | 8-14μ | 0.24 |
| Acero: superficie áspera | | 8-14μ | 0.96 |
| Acero: muy áspero | | 8-14μ | 0.69 |
| Acero: rolado en láminas | | 8-14μ | 0.56 |
| Estaño: bruñido | | 8-14μ | 0.05 |
| Tungsteno | | 8-14μ | 0.05 |
| Zinc: lámina | | 8-14μ | 0.20 |

| | | | |
|------------------------------|--------------------|---------|-----------|
| Asbesto: sobre la superficie | 20 ⁰ C | | 0.96 |
| Asbesto: fábrica | 20 ⁰ C | | 0.78 |
| Asbesto: papel | 400 ⁰ C | | 0.93 |
| Asbesto: metálico | 20 ⁰ C | | 0.96 |
| Plástico | 17 ⁰ C | 2-5.6μ | 0.86-0.90 |
| vidrio | | 8-14μ | 0.92 |
| Formica | 27 ⁰ C | 6.5-20μ | 0.937 |
| Hielo | | 8-14μ | 0.97 |
| P.V.C | 17 ⁰ C | 2-5.6μ | 0.91-0.93 |
| Papel: negro | 20 ⁰ C | | 0.90 |
| Polypropileno | 17 ⁰ C | 2-5.6μ | 0.97 |
| Cuarzo | | 8-14μ | 0.93 |
| Rubber | | 8-14μ | 0.95 |
| Agua | | 8-14μ | 0.98 |
| Agua: snow | -10 ⁰ C | | 0.85 |
| Madera: plana | | 8-14μ | 0.85 |
| Madera: con barniz y pulida | 36 ⁰ C | 5μ | 0.86 |

ANEXO 2.

Tabla 2. Especificaciones técnicas de la *Thermacam PM 595*

| | | |
|-----------------------------------|--|--|
| DESEMPEÑO DE LA IMAGEN | -Campo visión / distancia mínima de enfoque. Resolución espacial (IFOV) Sensitividad térmica Frecuencia de la imagen Función de <i>Zoom</i> -electrónico | -24" * 18" / 0.5 m 1.3 mrad 0.1" a 30°C 50/60 Hz no entrelazada 4 * continuo |
| DETECTOR | -Tipo -Rango espectral | -Arreglo plano focal, Microbolómetro, sin enfriamiento, de 320 * 240 píxeles. -7.5 a 13 micrómetros |
| PRESENTACIÓN DE IMAGEN | Salida de vídeo Visión de imagen | -RS170 EIA/NTSC o CCIR/PAL, compuesta y conexión de S-vídeo digital de 14 bits,- integrado en color de alta resolución. |
| MEDICIÓN | -Rangos de temperatura -Precisión -Corrección automática de emisividad | -De -40 a 500°C $\pm 2^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\%$ -Ajustada a partir de tablas predefinidas de emisividad de materiales. |
| ALMACENAMIENTO DE IMAGENES | -Tipo -Formato de archivos -Formato de archivos BMP -Formato de archivos IMG + BMP -Anotaciones de voz en imágenes -Anotaciones de texto en imágenes | -Tarjeta PCMCIA de alta capacidad -Imagen digital de datos IR -Mapa de <i>bits</i> estándar -cada imagen almacenada en ambos formatos -30 segundos de sonido digital almacenados con la propia imagen -Texto predefinido seleccionado y almacenado con la propia imagen |
| SISTEMA DE BATERÍAS | -Tipo -Tiempo de funcionamiento -Tiempo de carga | Interna, batería de hidruro de níquel recargable, extraíble, 2 horas de funcionamiento ininterrumpido -2 horas de funcionamiento -1 hora |
| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS | -Peso -Dimensiones -Montaje en trípode | -con baterías 2.3 Kg. -220mm * 133mm * 140mm -1/4" 20 |
| | | |

ANEXO 3.

Cotización de los servicios de termografía.



Guatemala, 23 de Julio de 2004

Ing. José Pérez

Presente.

Estimado Ingeniero:

Por este medio nos permitimos presentar a ustedes el nuevo plan de mantenimiento predictivo por medio de termografía infrarroja, ofreciéndole un servicio con atención personalizada y periódica que le ayudará a mejorar la seguridad, ahorrar costos en reparaciones por falla y le dará un valor agregado al mantenimiento de su maquinaria e instalaciones de la planta.

Los servicios incluyen:

- 3 visitas al punto de inspección
- Reporte de resultados
- Seguimiento de falla del punto

Nuestro equipo es el más avanzado del mundo para las tomas de termografía infrarroja y contamos con termógrafos certificados nivel 2, por lo que aseguramos a ustedes de la calidad de las mismas y el reporte que proporcionamos cumplirá con estándares mundiales de mantenimiento.

El valor de la inversión por el punto para las tres visitas es de:

Equipo (especificación): \$24.00

El precio no incluye IVA.

Esperando poder servirles hoy y en un futuro

Atentamente,

Ingeniero Mynor Romero
Gerente de Comercialización

9ª. Avenida 15-28 Zona 10 Edificio Villalar, Oficina 02. Guatemala, C.A

ANEXO 4.

Cotización de la cámara termográfica con sus accesorios y capacitación



Guatemala 28 de septiembre de 2003

Señor(es):
PRESENTE

A nosotros nos complace presentarle la siguiente cotización sobre nuestros productos y capacitación, la cual consiste en:

| Ite | Qt | Description | Unit | Total Price |
|-----|----|--|-------|----------------------------|
| M | y | | Price | |
| 1 | 1 | ThermaCAM PM 595 (#11790290) | | |
| | | Incluye: | | |
| | | • Irwin Report 5.3 | | \$49455.00 |
| | | | | \$49455.00 |
| 1 | 1 | T-TH ITC in-house Level 1 (1 Level 1 training to be in Boston | | |
| | | | | \$1595.00 \$1595.00 |
| 1 | 1 | Courier from-Boston to Guatemala City | | |
| | | | | \$445.95 \$ 445.95 |

TOTAL PRICE: US\$ 51,495.95

Cualquier inquietud, no dude en llamarnos al 978-901-8000 con *Ray Sequera Flir Systems, Inc. 16 Esquire Road North Billerica, MA. www.flir.com*

Muchas gracias por preferirnos

Atentamente

Ray Sequera
Flir Sales Manager to
Latin America

ANEXO 5.

Termogramas a diferentes sistemas

Figura 1A. Termogramas de elementos mecánicos

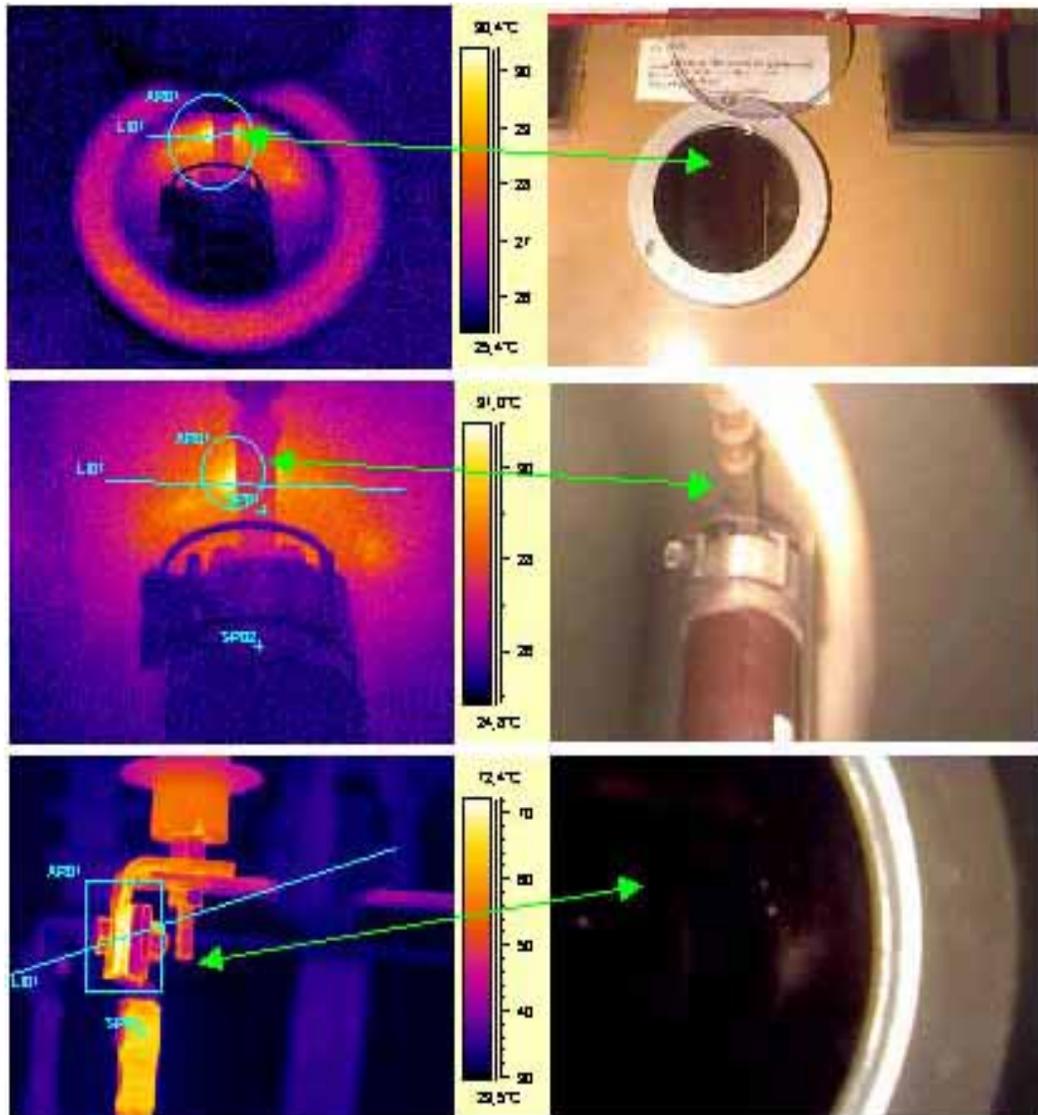


Figura 2A. Termograma de un avión de combate.



Figura 3A. Termograma de filtros de aire comprimido

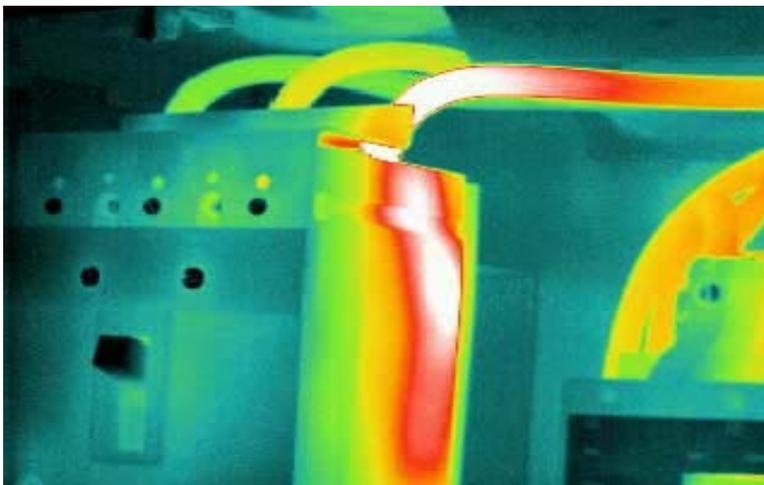


Figura 4A. Termograma de red de aire comprimido



Figura 5A. Termograma de Líneas de Distribución Eléctrica

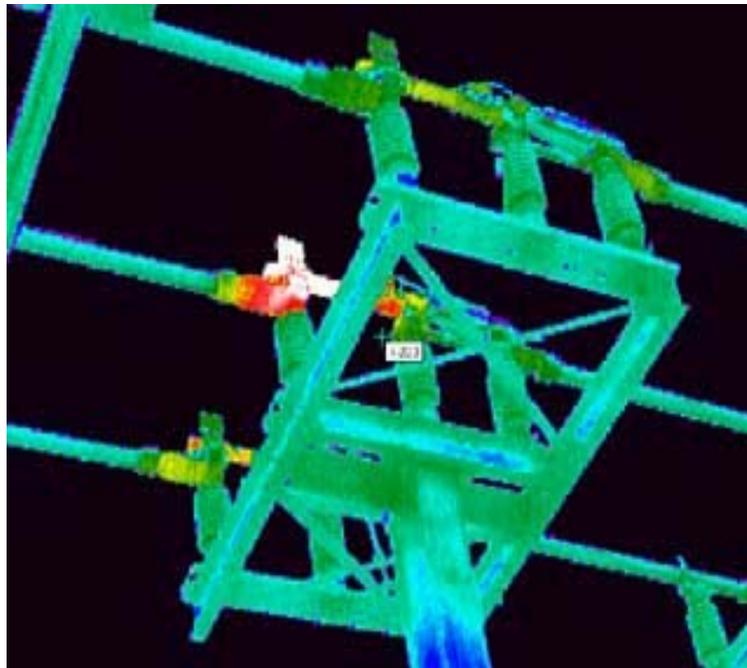


Figura 6A. Termograma de un puente



Figura 7A. Prueba de Alineación y Balanceo de un Motor

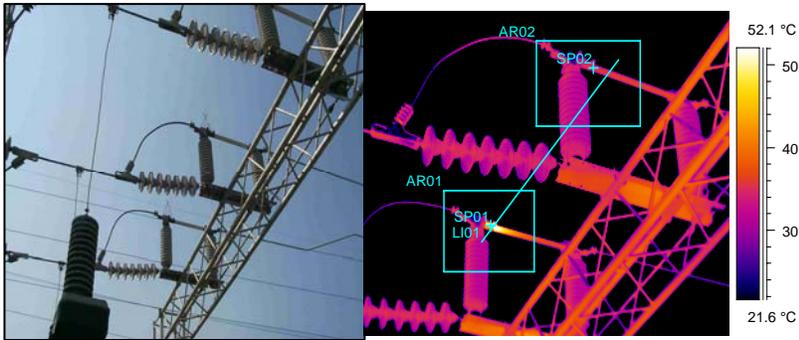


Figura 9A. Termogramas de sistemas eléctricos

Fusibles



Cables de alta tensión



Transformador y Flipon

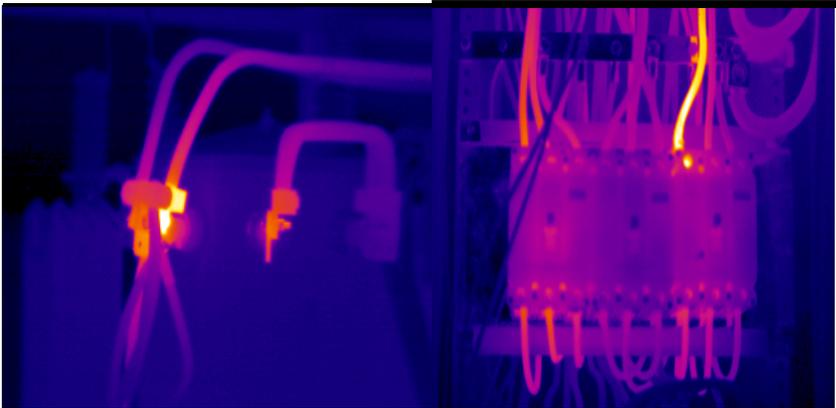
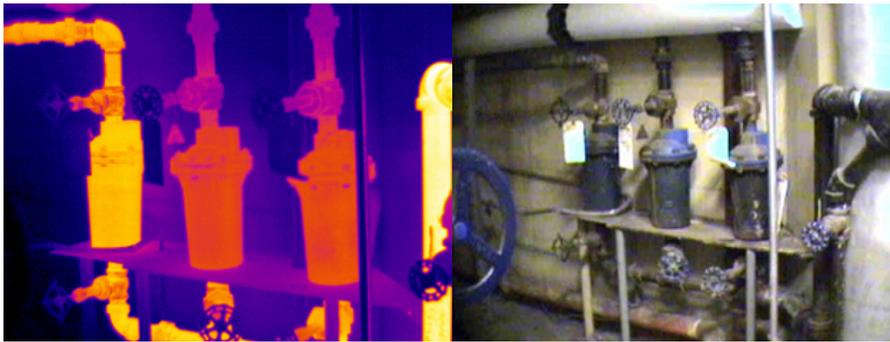


Figura 10A. Termogramas de sistemas mecánicos

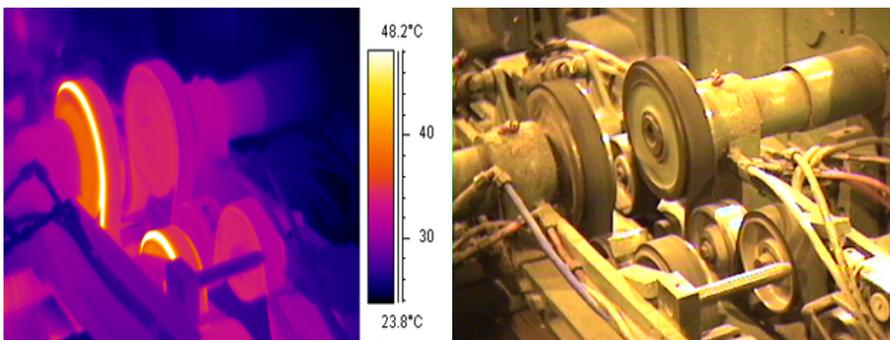
Motor y tuberías de conducción



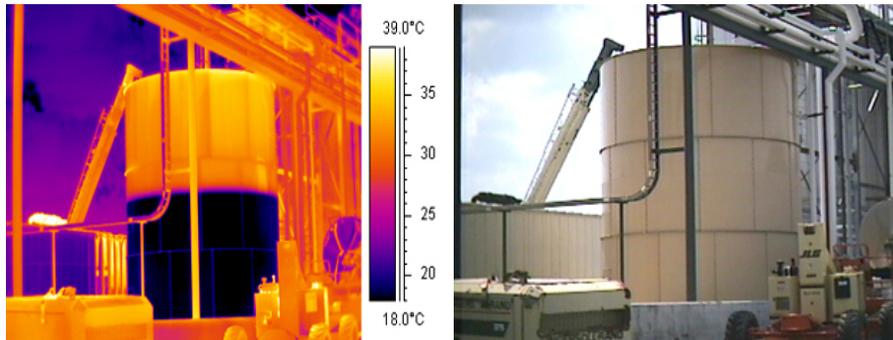
Trampas de vapor



Sistema de poleas, calentamiento de correas

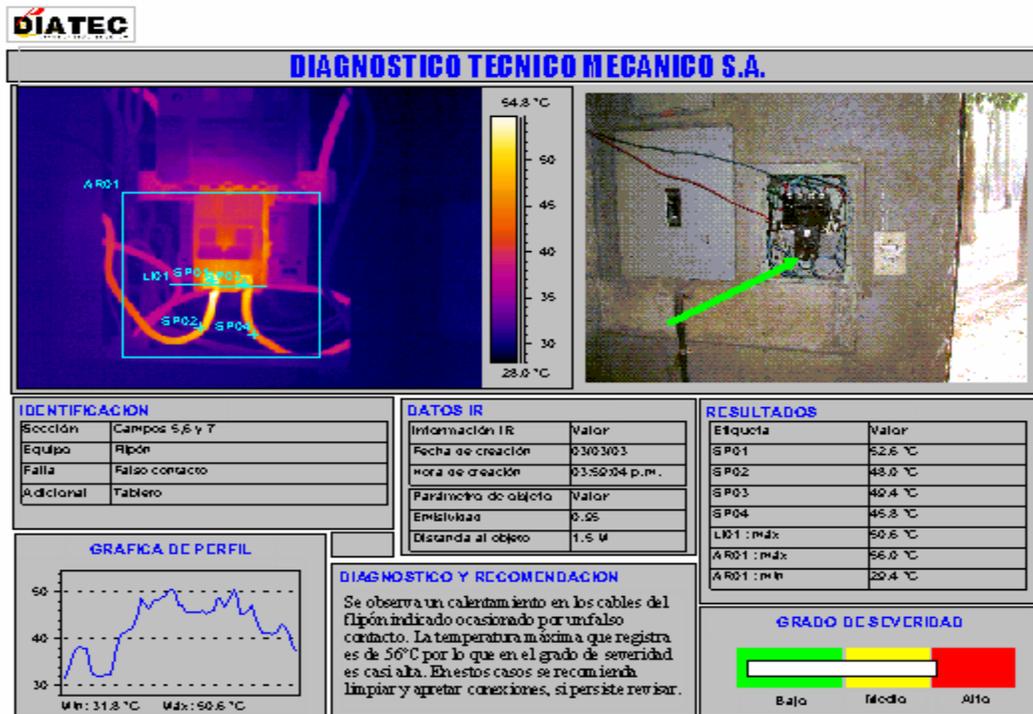


Tanque de almacenamiento de líquido



ANEXO 6

Muestra del Reporte de DIATEC



ANEXO 7

Cámaras utilizadas para el estudio



