

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIA**



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGIA

**“APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA  
EN TABLEROS ELECTRICOS DE DISTRIBUCIÓN PARA  
MEJORAR LA SEGURIDAD Y LA CALIDAD DE LA  
ENERGÍA ELECTRICA”**

**TESISTAS:**

BACH. ISABEL TERESA AZNARÁN BALCÁZAR

BACH. GENA JULIETTE REYES ARANDA

**ASESOR:**

Ms. HUGO CALDERÓN TORRES

**NVO. CHIMBOTE – PERU**

**2016**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL INGENIERIA EN ENERGIA



### CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D. N°471-2002-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGIA

“APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA INRARROJA EN TABLEROS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN PARA MEJORAR LA SEGURIDAD Y LA CALIDAD DE LA ENERGÍA”

TESISTAS: Bach. AZNARÁN BALCÁZAR ISABEL TERESA

Bach. REYES ARANDA GENA JULIETTE

---

**Mg. Hugo Calderón torres**

**Asesor**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL INGENIERIA EN ENERGIA



### CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS

Daos la conformidad del presente informe , desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.N°471-2002-CU-R.UNS).titulado:

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGIA

“APLICACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA INRARROJA EN TABLEROS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN PARA MEJORAR LA SEGURIDAD Y LA CALIDAD DE LA ENERGÍA”

TESISTAS: Bach. AZNARÁN BALCÁZAR ISABEL TERESA

Bach. REYES ARANDA GENA JULIETTE

Revisado y Evaluado por el siguiente Jurado Evaluador

---

**Mg. Hugo Calderón Torres**

**Integrante**

---

**Ing. Julio Escate Ravello**

**Integrante**

---

**Mg. Amancio Rojas Flores**

**Presidente**

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal realizar aplicar la Termografía Infrarroja en Tableros Eléctricos de distribución para mejorar la seguridad y la calidad de la Energía Eléctrica, considerando para ello la unidad de negocios Chimbote de Hidrandina S.A., específicamente la radial CHN011 Pardo.

La investigación es aplicada, en donde se toma en cuenta los fenómenos termográficos para la inspección y control de las instalaciones de los tableros de distribución de baja tensión, las conexiones y los accesorios que contiene, teniendo en cuenta algunos factores que pudieran alterar o brindar datos equivocados, como el clima principalmente imposibilitando la toma de mediciones termográficas. La investigación a realizar es de tipo descriptivo, aplicativo y correlacional, misma que estará fundada en los principios básicos aplicativos de tecnologías de transferencia de calor.

En el estudio se evaluó 479 datos, identificándose 142 puntos calientes que representan el 30% de anomalías, de las cuales el 43% son críticas, determinándose la disponibilidad de equipos e instalaciones eléctricas en la zona en estudio y su evolución, el cual aumento de 92.18% a 92.64%. Dentro de los beneficios económicos de utilizar una inspección termográfica, considerando todos los recursos utilizados; se obtuvo un ahorro S/. 44336.66, comparando los costos 2013 y 2014.

La supervisión y control de las diferentes instalaciones eléctricas utilizando la inspección termográfica es muy importante, para conocer claramente las características del sistema y el entorno de los equipos hacia los cuales iba dirigido.

## **ABSTRACT**

This research has as main objective to carry out applied Infrared Thermography in Electrical Switchboard to improve safety and quality of Electric Power, considering for this business unit Hidrandina Chimbote SA, specifically the radial CHN011 Pardo. The research is applicative, where one considers thermographic phenomena for inspection and control of the facilities of the boards of low voltage distribution, connections and accessories included, taking into account some factors that could alter or provide data wrong, as the climate making it impossible mainly thermal measurements. To conduct research is descriptive, and correlational application, same which will be founded on the basic principles applications of heat transfer technologies. The study evaluated 479 data and identified 142 hot spots representing 30% of anomalies, of which 43% are critical, determining the availability of equipment and electrical installations in the study area and its evolution, which increased 92.18% to 92.64%. Among the economic benefits of using a thermographic inspection, considering all resources used; an S / savings was obtained. 44336.66, comparing 2013 and 2014 costs. The supervision and control of different electrical installations using the thermographic inspection is very important to clearly understand the characteristics of the system and the environment to which equipment was addressed

## INDICE

**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

**CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**CAPITULO I: INTRODUCCION** 1

**CAPITULO II: MARCO TEORICO**

2.1. Antecedentes 5

2.2. Concepto 7

2.2.1. Temperatura y Calor 7

2.2.2. Fundamentos de la teoría térmica 8

2.2.3. El espectro electromagnético 11

2.2.4. Termografía 19

2.2.5. Inspección termográfica de instalaciones eléctricas 32

2.2.6. Técnica de medición para la inspección termográfica de I.E. 34

2.2.7. Normas y publicaciones técnicas sobre termografía 47

16

**CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Materiales 51

3.1.1. Cámara termográfica FLIR T200 51

3.2. Métodos 53

3.2.1. Realización de inspección termográfica 53

3.2.2. Procedimiento rápido de inicio de actividades de medición 55

3.2.3. Diagrama de flujo de trabajo 55

**CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Datos recopilados de la medición termográfica 58

4.2.	Disponibilidad de equipos e instalaciones eléctricas	65
4.3.	Análisis económico del uso y aplicación de la termografía	69
4.4.	Discusión	75

## **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.	Conclusiones	76
5.2.	Recomendaciones	77

## **CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Bibliografía	78
--------------	----

## **CAPITULO VII: ANEXOS**

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

## INTRODUCCIÓN

Con la evolución de la industria, el diagnóstico energético eléctrico ha tomado un papel realmente importante, pues de él depende la operación constante y efectiva de los equipos e instalaciones involucrados en los procesos, que permitan aumentar capacidad de producción, con calidad, seguridad y rentabilidad.

Para que el diagnóstico energético eléctrico sea efectivo, es necesario establecer una estrategia de medición de los parámetros eléctricos, que evalúa el estado de los componentes eléctricos o mecánicos mediante diferentes técnicas de seguimiento y análisis determinando su estado o condición, una de las técnicas para implementar un plan de mantenimiento predictivo es la termografía infrarroja. Hoy en día, la termografía es una técnica muy consolidada para la inspección de instalaciones eléctricas. Tanto los países en vías de desarrollo como los industrializados han adoptado esta técnica.

La termografía, junto con el análisis de vibraciones, ha sido durante las últimas décadas el principal método de la industria para diagnosticar fallos, como parte de los programas de mantenimiento. La gran ventaja de estos métodos es que permiten inspeccionar las instalaciones cuando están en funcionamiento; de hecho, en una situación normal de trabajo es un prerrequisito para que los resultados de la medición sean correctos, por lo que no es necesario interrumpir los procesos de producción en curso.

Con la finalidad de realizar poner a prueba estos beneficios se realizó el proyecto denominado "**Aplicación de la Termografía Infrarroja en Tableros Eléctricos de distribución para mejorar la seguridad y la calidad de**

**la Energía Eléctrica”, la cual surgió de la siguiente pregunta:”¿En qué porcentaje, la aplicación de la termografía infrarroja en tableros eléctricos de distribución permite mejorar los indicadores de seguridad y calidad de la energía eléctrica?**

Por lo cual se planteó la **hipótesis:**

**Aplicación de la Termografía Infrarroja en Tableros Eléctricos de distribución permite mejorar los indicadores de seguridad y la calidad de la Energía Eléctrica en un 98% y 95% respectivamente.**

Con la evolución de la industria, el seguimiento y control de las instalaciones eléctricas; ha tomado un papel realmente importante, pues de él depende la operación constante y efectiva de los equipos e instalaciones involucrados en los procesos, que permitan aumentar capacidad de producción, con calidad, seguridad y rentabilidad.

La termografía infrarroja como técnica de producir imágenes a partir de la radiación térmica invisible que emiten los objetos, es un medio que permite identificar sin contacto; algunos componentes eléctricos y mecánicos más calientes que su operación normal, indicando áreas de fallas inminentes o áreas con excesiva pérdida de calor, que usualmente son síntomas de fallas. Por lo que es la herramienta más indicada para el diagnóstico de sistemas eléctricos, ya que los componentes eléctricos nuevos comienzan a deteriorarse desde el mismo momento en que se instalan.

Es por ello la necesidad e importancia de realizar un estudio y determinar el mejoramiento de los indicadores de seguridad y calidad de la energía eléctrica en tableros de distribución aplicando la técnica de termografía.

**Para lo cual en este proyecto de investigación se tiene como objetivo general:**

- ✓ **Aplicar la Termografía Infrarroja en Tableros Eléctricos de distribución para mejorar la seguridad y la calidad de la Energía Eléctrica.**

**Y como objetivos específicos:**

- ✓ **Analizar los elementos eléctricos de operación para definir la existencia de variaciones de temperatura.**
- ✓ **Realizar el análisis termográfico de los tableros eléctricos.**
- ✓ **Determinar la disponibilidad de equipos e instalaciones eléctricas en la zona en estudio, como factor para analizar la calidad de la energía (número de interrupciones)**
- ✓ **Analizar y evaluar los beneficios económicos, recursos, materiales y suspensión del servicio al cliente.**

Es por ello que la siguiente investigación se limita al cumplimiento de los objetivos establecidos, considerando únicamente los tableros de distribución de baja tensión, las conexiones y los accesorios que estos contiene, teniendo en cuenta que en algunos de estos factores se pudieran alterar o brindar datos equivocados, como el clima principalmente imposibilitando la toma precisa de mediciones termográficas.

La investigación a realizar es de tipo descriptivo, aplicativo y correlacional, misma que estará fundada en los principios básicos aplicativos de tecnologías de transferencia de calor, fórmulas experimentales, datos geográficos climatológicos y fundamentos de otras investigaciones relacionadas.

Comprende las siguientes etapas, por objetivo específico:

- a) Recopilación de información, relacionado con las condiciones de operación y requerimiento de los fluidos de trabajo, así como datos geográficos y climatológicos.
- b) Selección del tramo para el estudio del rendimiento energético del sistema de aislamiento.
- c) Cálculo y dimensionamiento del sistema de aislamiento.
- d) Medición de resultados, previa instalación del sistema de aislamiento por parte de la empresa responsable.
- e) Discusión y análisis de resultados para comprobar la hipótesis.
- f) Elaborar el informe de investigación.

# CAPITULO II

## MARCO TEORICO

## 2.1. Antecedentes

**Tesis de grado: “ESTUDIO DE AHORRO ENERGETICO APLICADO AL AREA INDUSTRIAL UTILIZANDO EQUIPO ANALIZADOR REGISTRADOR DE ENERGIA FLUKE MODELO 1735”. UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI. (Moreano M., 2010)**

El equipo analizador-registrador FLUKE 1735 es una gran herramienta para el análisis de redes eléctricas en baja tensión. Los ingenieros y técnicos electricistas encontraran múltiples funciones y aplicaciones para solucionar los diversos problemas que se presenten en un sistema eléctrico.

Su objetivo primordial es lograr un ahorro energético que a su vez es traducido en un ahorro económico que a su vez es un ahorro económico y generar beneficio ecológico.

En este estudio de ahorro energético se optimizo el uso de energía eléctrica y se consiguió una reducción progresiva de de rubros que por concepto de energia eléctrica se cancelan mensualmente

**Artículo Científico: IMPORTANCIA DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN EL DIAGNÓSTICO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA. (Osorio O., 2004)**

Este trabajo presenta los resultados obtenidos en las inspecciones de termografía infrarroja a transformadores de potencia de 2000 y 2500 KVA en 13.8-0.480/0.277 KV instalados en plantas industriales, así mismo se determinan la causa raíz del problema que presentan para su corrección. Con base a los resultados obtenidos en estos equipos, se concluye de la

importancia de la implantación de un buen plan de mantenimiento proactivo que contemple la termografía infrarroja a los equipos eléctricos, que permita analizar de manera oportuna las fallas que presentan, para mejorar la confiabilidad del equipo a través de acciones dirigidas a evitar que se repitan.

**Tesis de grado: “TERMOGRAFÍA INFRARROJA COMO TÉCNICA DE DIAGNÓSTICO A EQUIPOS DE MENOS DE 34.5KV”. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.** (Yáñez I., 2009)

En este trabajo se analizó diferentes incrementos de temperatura en distintos materiales y equipos como son: en una barrilla de cobre, reóstato, transformador; ubicados en el laboratorio de altas tensiones y se llevó a cabo una inspección en la subestación de 23KV de la E.S.I.M.E. Zacatenco para analizar los incrementos de temperatura que presentan los elementos que la conforman. Por medio de la Cámara Flir System modelo SC660 se realizaron las pruebas mencionadas para analizar el incremento de temperatura. También por medio del Software de Flir QuickReport versión 1.2 se obtuvo un análisis más detallado que permite observar la emisividad, temperatura aparente reflejada y los rangos de temperatura que presenta cada equipo con respecto a cada experimento con el fin de obtener resultados más exactos para evitar de no caer en malas interpretaciones.

## **2.2. Concepto**

La Termografía Infrarroja es una técnica que permite medir y visualizar, a distancia y sin ningún contacto, temperaturas de una superficie con precisión.

El ojo humano no es sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto, por esta razón se hace necesario utilizar cámaras termográficas, que son capaces de medir esta energía por medio de sensores infrarrojos y captar longitudes de onda. Esto nos permite determinar la energía radiante emitida por objetos y, por lo tanto, se puede establecer la temperatura de una superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto.

La gran mayoría de los problemas y averías eléctricas en el entorno industrial, están precedidas por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la inspección de temperatura con sistemas de Termovisión por Infrarrojos, es decir Cámaras Infrarrojas.

### **2.2.1. Temperatura y Calor**

La temperatura es una medida de la energía cinética promedio de los átomos y moléculas individuales de una sustancia. Se dice que dos objetos están en equilibrio térmico sí y solo sí tienen la misma temperatura. Entonces, la temperatura es una medida de la actividad molecular.

Mientras que el calor se define como la energía cinética total de todos los átomos o moléculas de una sustancia. El calor y la temperatura están relacionados entre sí, pero son conceptos diferentes. El calor es la energía total del movimiento molecular en una sustancia, mientras que la temperatura es una medida de la energía molecular promedio.

El calor depende de la velocidad de las partículas, su número, su tamaño y su tipo. La temperatura no depende del tamaño, del número o del tipo.

En toda la naturaleza cuando se transfiere calor a un cuerpo, éste puede experimentar diferentes cambios los cuales definen el tipo de calor. Los tipos de calor más comunes son:

- ✓ **Calor sensible:** Durante la transferencia de calor ocurre un cambio de entalpía directamente asociada a un cambio en la temperatura.
- ✓ **Calor latente:** El cambio de entalpía es caracterizado por un cambio de fase a temperatura constante.
- ✓ **Calor de reacción:** El calor es liberado o requerido por una reacción química.
- ✓ **Calor eléctrico:** Es el calor que se transfiere a causa del paso de una corriente eléctrica a través de un material.

### 2.2.2. Fundamentos de la teoría térmica

a. **Transferencia de calor.** La transferencia de calor es el paso de la energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura, producido por dicha diferencia.

b. **Métodos de transferencia de calor.** La energía térmica se puede transferir por tres métodos distintos: por conducción, por convección o por radiación. En la figura 1 se pueden observar los tres métodos de transferencia de calor, conducción, convección y radiación.

**b.1. Conducción.** Es la transferencia de energía desde cada porción de materia a la materia adyacente por contacto directo, sin intercambio, mezcla o flujo de cualquier material. La transmisión de calor por

conducción puede tener lugar entre diferentes objetos que están en contacto, y en el lugar interior de los objetos. No importa el tipo de material.

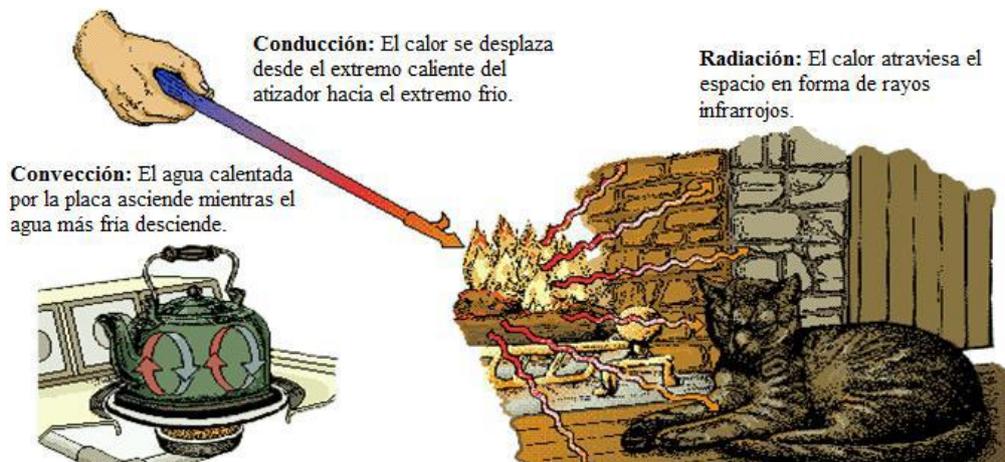


Figura 1. Métodos de transferencia de calor  
Fuente: Análisis termográfico Nivel I, IVAN BOHMAN C.A.

**b.2. Convección.** Es la transferencia de energía mediante la mezcla íntima de distintas partes del material: se produce mezclado e intercambio de materia. Para una persona que vaya a tomar temperaturas a base de termografía es de suma importancia comprender la transmisión de calor por convección, porque aunque siempre se suele estudiar sólidos, los campos de temperatura en los sólidos se ven muy afectados también por la convección, puesto que la mayoría de gases son invisibles para la cámara infrarroja, en las pocas ocasiones en las que se puede visualizar el proceso de convección directamente es en la superficie de los líquidos.

Existen dos tipos de convección y son: convección natural y convección forzada.

- ✓ **Convección natural:** El origen del mezclado es la diferencia de densidades que acarrea una diferencia de temperatura.
- ✓ **Convección forzada:** La causa del mezclado es un agitador mecánico o una diferencia de presión (ventiladores, compresores, etc.) impuesta externamente.

**b.3. Radiación.** La radiación es la transferencia de energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada, esta energía es producida por los cambios de los átomos o moléculas constitutivas y transportadas por ondas electromagnéticas o fotones, por lo que recibe el nombre de radiación electromagnética.

- ✓ *Radiación térmica.* La radiación térmica es una forma de radiación electromagnética. Los cuerpos emiten radiación térmica como consecuencia de su temperatura. Puesto que todos los objetos tienen una temperatura, todos emiten radiación térmica. A una mayor temperatura, mayor será la cantidad de radiación térmica emitida. La radiación térmica fácilmente se propaga a través de los gases, pero con mucha alta dificultad, o incluso bloqueada por la mayoría de los líquidos y sólidos.
- ✓ *Radiación infrarroja.* Las radiaciones infrarrojas se encuentran entre las zonas visibles e invisibles del espectro electromagnético. La principal fuente de radiación infrarroja es el calor o radiación térmica.

Cualquier objeto que tenga una temperatura por encima del cero absoluto ( $-273.15^{\circ}\text{C}$  ó  $0^{\circ}\text{K}$ ) emite una radiación en la zona de

infrarrojos. Incluso aquellos objetos que se pudiera pensar están fríos como el hielo, emiten radiación. Existe exposición a la radiación infrarroja cada día. El calor que se siente por el sol, por el fuego o por un radiador también es infrarrojo. Cuanto más caliente esté el objeto, mayor cantidad de radiación infrarroja emitirá.

Tanto la conducción como la convección requieren la presencia de materia para transferir calor. El calor es una forma de radiación como la luz pero la longitud de onda más larga conocida como radiación.

### 2.2.3. El Espectro Electromagnético.

En la Figura 2, observamos la representación gráfica de un espectro electromagnético. “Aunque las ondas de diferente longitud de onda han de ser producidas de distinto modo, todas son iguales en lo que concierne a su naturaleza fundamental. Obsérvese la porción relativamente pequeña ocupada por el espacio visible.

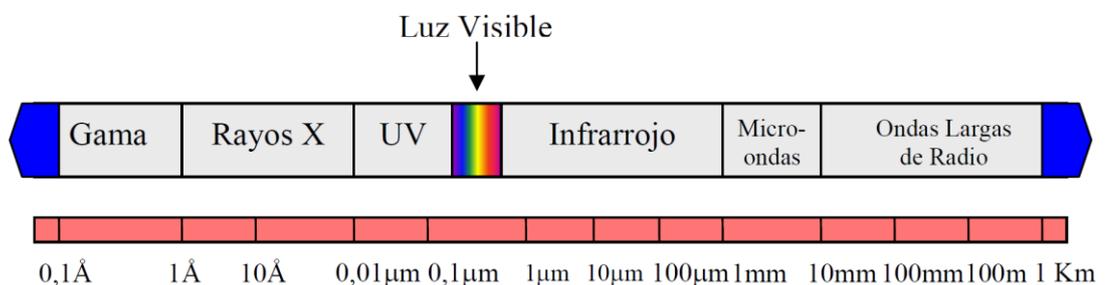


Figura 2. Espectro Electromagnético

Como podemos observar en la Figura 2, el rango visible es únicamente de 0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ , es por eso que la cámara termográfica amplía el rango infrarrojo que es “invisible” para nuestra a vista, a las ondas electromagnéticas del rango visible.

Los equipos termográficos utilizan el espectro infrarrojo, el cual abarca de 2 a 1000  $\mu\text{m}$ , para convertir la energía infrarroja que irradia el cuerpo a su respectivo termograma y su posterior análisis. Sin embargo la gran parte del espectro infrarrojo no es utilizado por los sensores termográficos ya que la radiación es absorbida por el vapor de agua y el dióxido de carbono de la atmósfera.

Desde el espectro visible hasta el espectro infrarrojo se presentan tres longitudes de onda diferentes, (banda infrarroja de longitud de ondas largas LWIR, banda infrarroja de longitud de ondas medias MWIR y banda infrarroja de longitud de ondas cercanas NIR o SWIR), en las cuales se basan los sensores termográficos, pero eso no significa que los tres sean de utilidad.

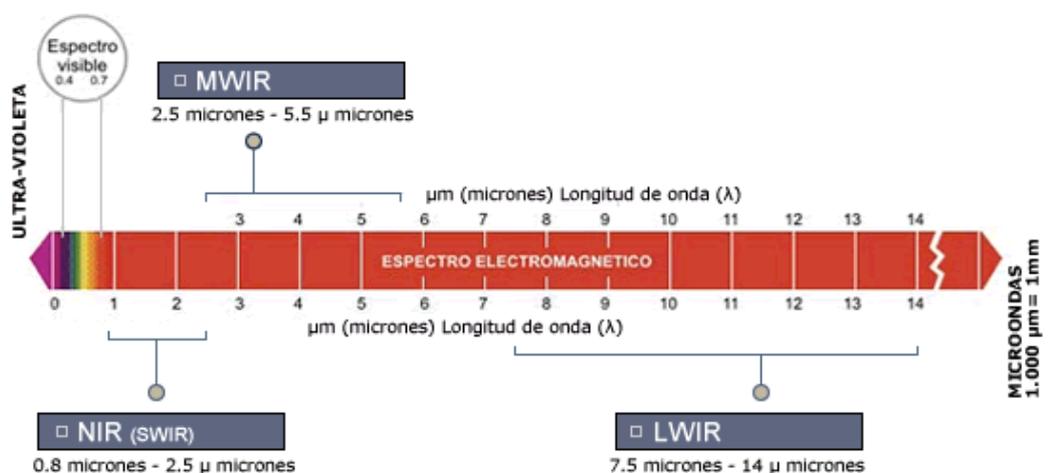


Figura 3. Espectro electromagnético

Fuente: [www.termografia.com/paginas/termografia/termografia.htm](http://www.termografia.com/paginas/termografia/termografia.htm)

En la Figura 3, observamos los rangos de cada una de las bandas infrarrojas. Notamos que la banda de longitudes de ondas largas LWIR posee una mayor región (7.5 a 14  $\mu\text{m}$ ) la cual es ideal para temperaturas bajas. La banda de longitudes de ondas medias MWIR abarca una región menor del espectro (2,5 a 5,5  $\mu\text{m}$ ), pero a diferencia de la anterior esta banda es apropiada para temperaturas mayores.

**a. Emisividad**

La emisividad es la relación de radiación infrarroja emitida por un objeto, a temperatura y banda espectral, determinadas en comparación con la energía emitida por un radiador perfecto (cuerpo negro), a la misma temperatura y banda espectral.

La emisividad de un cuerpo negro perfecto es la unidad (1.00).

Emisividad = Radiación emitida por la superficie de un objeto / Radiación emitida por un cuerpo negro.

La comprensión de la emisividad de un objeto, o su característico “resplandor” o “brillo” es un componente crítico en el manejo apropiado de la medición infrarroja. Hay muchas variables que afectan la emisividad de un objeto específico, tales como la longitud de onda, el campo de visión, la forma geométrica y la temperatura. Las superficies donde se tiene que hacer ajuste de emisividad para medir correctamente la temperatura son las que tengan mucha reflexión, acabado tipo espejo o que brillen considerablemente.

Todos los objetos reflejan, transmiten y emiten energía (Fig. 4). Sólo la energía emitida indica la temperatura del objeto. Cuando los termómetros IR y las cámaras termográficas miden la temperatura de las superficies, detectan los tres tipos de energía, por lo tanto ambos instrumentos deben ajustarse para que sólo lean la energía emitida. Los errores de medición son frecuentemente causados por energía infrarroja que se refleja en fuentes de luz.

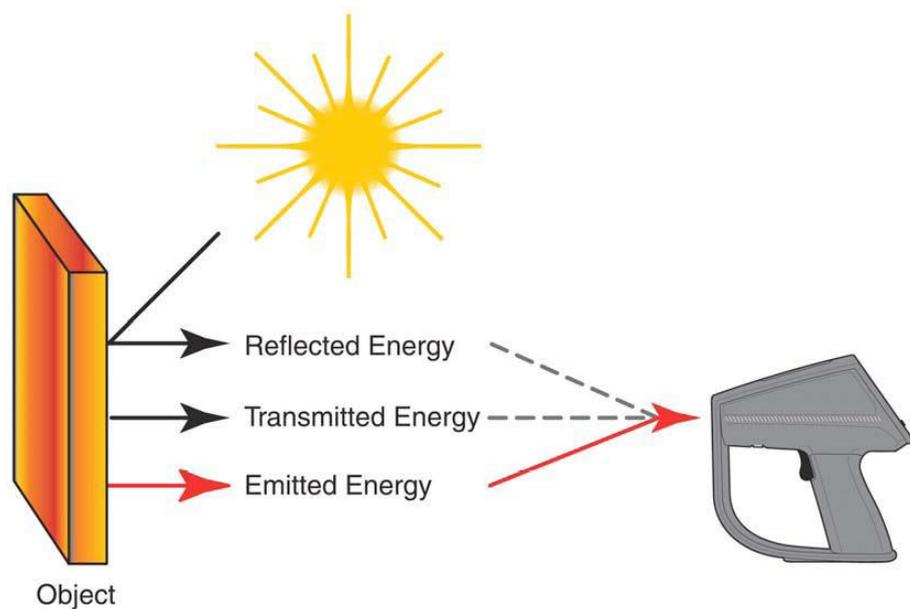


Figura 4. Energía que refleja, transmite y emite un objeto

Algunos termómetros IR y cámaras termográficas permiten cambiar la emisividad, hasta el valor de la unidad. El valor de la emisividad para distintos materiales se encuentra en las tablas 1 y 2.

El valor de la emisividad fijada y predeterminada para la mayoría de materiales orgánicos y superficies pintadas u oxidadas, oscila entre 0.85 y 0.95.

## b. Valores Típicos de Emisividad

Las tablas 1 y 2 proporcionan referencias para estimar la emisividad y pueden ser utilizadas cuando no se disponga del tiempo o los medios para determinar el valor de emisividad de manera experimental. Los valores de emisividad que se muestran en las tablas son aproximados. Alguno o todos los parámetros que se enumera a continuación pueden afectar la emisividad de un objeto:

- ✓ **El material.-** distintos tipos de materiales en un termograma tendrán distintas emisividades, lo cual crea una confusión en la imagen.
- ✓ **La superficie.-** la superficie del objeto afecta directamente a la emisividad, pues pueden haber imperfecciones, corrosión, etc.
- ✓ **La geometría.-** la forma del objeto nos afecta a la emisividad, por que puede poseer agujeros, ángulos, etc.
- ✓ **El ángulo de visión.-** se recomienda no colocarse frente al objeto, ya que se produce un reflejo de la persona sobre el objeto.
- ✓ **La longitud de onda.-** las emisividades de superficies idénticas pueden variar entre cámaras de longitudes de onda corta o larga.
- ✓ **La temperatura.-** el propio incremento de temperatura del cuerpo puede afectar a la emisividad, así por ejemplo, los metales incrementan su emisividad con el aumento de la temperatura.

Para optimizar la precisión de la medición de la temperatura se debe tener en cuenta lo siguiente:

- i. Determinar la emisividad del objeto para el rango espectral del instrumento que va a utilizar para la medición.

- ii. Evitar los reflejos protegiendo el objeto de fuentes cercanas de alta temperatura.
- iii. Para objetos a temperaturas más elevadas, se deben utilizar instrumentos de longitud de onda más corta, siempre que sea posible.
- iv. Para materiales semitransparentes como las películas de plástico y el vidrio, se debe asegurar que el fondo sea uniforme y de temperatura inferior a la del objeto.
- v. Mantener el instrumento en posición perpendicular a la superficie, siempre que la emisividad sea inferior a 0.9.

Tabla 1. Valores de Emisividad para Metales

Material		Emisividad		
		1.0 $\mu$ m	1.6 $\mu$ m	8-14 $\mu$ m
Molibdeno				
	Oxidado	0.5-0.9	0.4-0.9	0.2-0.6
	Sin oxidar	0.25-0.35	0.1-0.35	0.1
Monel (Ni-Cu)		0.3	0.2-0.6	0.1-0.14
Níquel				
	Oxidado	0.8-0.9	0.4-0.7	0.2-0.5
	Electrolítico	0.2-0.4	0.1-0.3	n.r.
Platino				
	Negro	n.r.	0.95	0.9
Plata		n.r.	0.02	n.r.
Acero				
	Laminado en frío	0.8-0.9	0.8-0.9	0.7-0.9
	Lámina afilada	n.r.	n.r.	0.4-0.6
	Lámina pulida	0.35	0.25	0.1
	Fundido	0.35	0.25-0.4	n.r.
	Oxidado	0.8-0.9	0.8-0.9	0.7-0.9
	Inoxidable	0.35	0.2-0.9	0.1-0.8
Estano (sin oxidar)		0.25	0.1-0.3	n.r.
Titanio				
	Pulido	0.5-0.75	0.3-0.5	n.r.
	Oxidado	n.r.	0.6-0.8	0.5-0.6
Tungsteno		n.r.	0.1-0.6	n.r.
	Pulido	0.35-0.4	0.1-0.3	n.r.
Zinc				
	Oxidado	0.6	0.15	0.1
	Pulido	0.5	0.05	n.r.

Fuente: Manual del usuario ThermoView™ T i30 Apéndice A - Referencias Técnicas.  
 Pág. 87. n.r. = no recomendado

Material		Emisividad		
		1.0 $\mu\text{m}$	1,6 $\mu\text{m}$	8-14 $\mu\text{m}$
Aluminio				
	Sin Oxidar	0,1-0,2	0,02-0,2	n.r. <sup>10</sup>
	Oxidado	0,4	0,4	0,4
Aleación A3003				
	Oxidado	n.r.	0,4	0,3
	Áspero	0,2-0,8	0,2-0,6	0,1-0,3
	Pulido	0,1-0,2	0,02-0,1	n.r.
Latón				
	Pulido	0,8-0,95	0,01-0,05	n.r.
	Barnizado	n.r.	n.r.	0,3
	Oxidado	0,6	0,6	0,5
Cromo		0,4	0,4	n.r.
Cobre				
	Pulido	n.r.	0,03	n.r.
	Áspero	n.r.	0,05-0,2	n.r.
	Oxidado	0,2-0,8	0,2-0,9	0,4-0,8
	Terminales Eléctricas	n.r.	n.r.	0,6
Oro		0,3	0,01-0,1	n.r.
Aleación Haynes		0,5-0,90	0,6-0,9	0,3-0,8
Inconel				
	Oxidado	0,4-0,9	0,6-0,9	0,7-0,95
	Lijado con Arena	0,3-0,4	0,3-0,6	0,3-0,6
	Electro Pulido	0,2-0,5	0,25	0,15
Hierro				
	Oxidado	0,4-0,8	0,5-0,9	0,5-0,9
	Sin Oxidar	0,35	0,1-0,3	n.r.
	Herrumbroso	n.r.	0,6-0,9	0,5-0,7
	Fundido	0,35	0,4-0,6	n.r.
Hierro, colado				
	Oxidado	0,7-0,9	0,7-0,9	0,6-0,95
	Sin Oxidar	0,35	0,3	0,2
	Fundido	0,35	0,3-0,4	0,2-0,3
Hierro, dulce				
	En bruto	0,9	0,9	0,9
Plomo				
	Pulido	0,35	0,05-0,2	n.r.
	Áspero	0,65	0,6	0,4
	Oxidado	n.r.	0,3-0,7	0,2-0,6
Magnesio		0,3-0,8	0,05-0,3-	n.r.
Mercurio		n.r.	0,05-0,15	n.r.

Fuente: Manual del usuario ThermoView™ T i30 Apéndice A - Referencias Técnicas. Pág. 87. n.r. = no recomendado

Tabla 2. Valores de emisividad para no metales

Material		Emisividad		
		1,0 $\mu\text{m}$	1,6 $\mu\text{m}$	8-14 $\mu\text{m}$
Asbesto		0,9	0,9	0,95
Asfalto		n.r. <sup>12</sup>	0,95	0,95
Basalto		n.r.	0,7	0,7
Carbono				
	Sin Oxidar	0,8-0,95	0,8-0,9	0,8-0,9
	Grafito	0,8-0,9	0,7-0,9	0,7-0,8
Carborundum		n.r.	0,9	0,9
Cerámica		0,4	0,85-0,95	0,95
Barro		n.r.	0,85-0,95	0,95
Cemento		0,65	0,9	0,95
Tejido		n.r.	0,95	0,95
Vidrio				
	Placa	n.r.	0,98	0,85
	Fundido (gota)	n.r.	0,9	n.r.

Fuente: Manual del usuario ThermoViewTM T i30 Apéndice A - Referencias Técnicas. Pág. 87. n.r. = no recomendado

### c. Propiedades de la radiación

- ✓ **Absorción  $\alpha$  (alfa):** Es la fracción de la radiación que es absorbida por un material.
- ✓ **Reflectividad  $\rho$  (rho):** Fracción de la radiación incidente reflejada por una superficie.
- ✓ **Transmisividad  $\tau$  (tau):** Es la relación entre la energía transmitida por un cuerpo a la radiación incidente sobre el mismo.
- ✓ **Flujo radiante:** Cantidad de energía radiante emitida, transmitida o recibida por unidad de tiempo.
- ✓ **Densidad de flujo radiante  $\Phi$ :** Flujo radiante por unidad de área.
- ✓ **Irradiancia:** Densidad de flujo radiante incidente sobre una superficie.
- ✓ **Emitancia radiante ( $\epsilon$ ):** Densidad de flujo radiante emitido por una superficie.

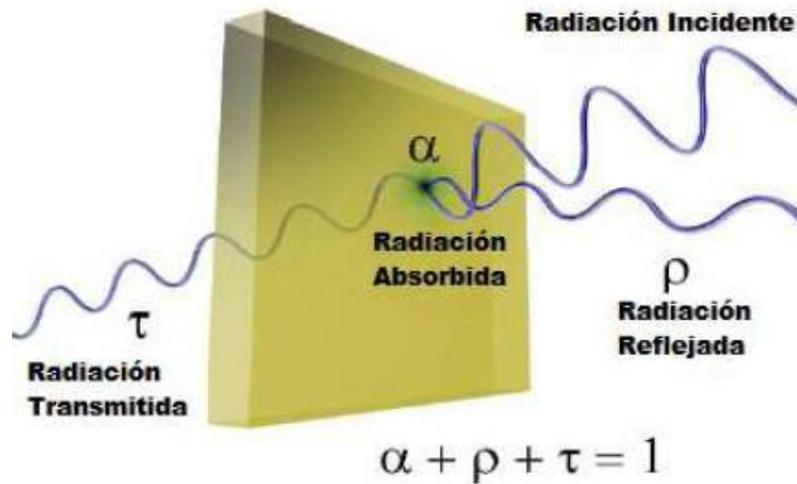


Figura 5. Representación de la radiación que incide sobre un objeto real.  
Fuente: Análisis termográfico Nivel I, IVAN BOHMAN C.A.

La suma de las tres es siempre 1

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

#### 2.2.4. Termografía

La termografía es una técnica que permite calcular y determinar temperaturas a distancia, con exactitud y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. La termografía permite captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas o de termovisión. Conociendo los datos de las condiciones del entorno (humedad y temperatura del aire, distancia a objeto termografiado, temperatura reflejada, radiación incidente,...) y de las características de las superficies termografiadas como la emisividad se puede convertir la energía radiada detectada por la cámara termográfica en valores de temperaturas. En la termografía, cada pixel corresponde con un valor de medición de la radiación; con un valor de temperatura. A esa imagen se le puede definir como radiométrica.

### **a. Análisis Termográfico**

El análisis termográfico se basa en el estudio e interpretación de las termografías, habiendo sido estas realizadas en unas condiciones conocidas y útiles para el propósito (hay multitud de normas para las muy distintas inspecciones). De modo sencillo podremos conocer la radiación de las superficies termografiadas y con ello estimar las temperaturas; bien sean estas de una tubería, pieza, maquinaria, envolventes, etc.

Con la realización del estudio termográfico completo se puede realizar una comprobación tanto en envolventes, como en maquinarias y sistemas de distribución, con lo que se puede conseguir:

- ✓ Un mayor conocimiento de la instalación realizada en cuanto a su estado térmico.
- ✓ Conocimiento de las pérdidas existentes (fugas) y por lo tanto de posibles puntos de actuación.
- ✓ Ahorro debido a una mayor eficiencia energética de los sistemas evaluados.

El estudio de los sistemas de distribución puede alertar de las pérdidas energéticas que se producen por un mal aislamiento, alguna rotura o mal engranaje.

Al estudiar la envolvente en los edificios podremos conocer y/o estimar muchos de los problemas de la edificación: las pérdidas de energía, falta de estanqueidad, condensaciones, humedades, problemas de adhesión de morteros y plaquetas, soleamiento y temperatura sol-aire, etc. Ello nos permite conocer el estado de los edificios y advertir del potencial de mejora de los éstos.

Los termógrafos son dispositivos del sistema calórico destinados a registrar la temperatura de continua. Se puede medir la temperatura de los cuerpos que emiten radiación calórica cuya fuente de energía es la producida por las moléculas en funcionamiento dentro del organismo.

Es decir: La interpretación de las temperaturas superficiales puede indicarnos muchos datos sobre el estado de los elementos termografiados. Por ejemplo: fusibles quemados, sobrecalentamientos en bornes, malas conexiones, falta de aislamientos en edificación, humedades, fugas de agua, pérdidas de estanqueidad, intrusos, etc.

#### **b. Aplicaciones generales de la termografía infrarroja**

En la actualidad la termografía infrarroja se ha convertido en una herramienta fundamental del mantenimiento preventivo, ya que permite realizar mediciones de temperatura del equipo sin contacto brindando seguridad al personal, además de que no se tiene que suspender el servicio.

Pero la termografía posee una gran variedad de aplicaciones, por lo cual mencionar cada una de ellas resultaría demasiado extenso, a continuación se señalan algunas de las aplicaciones más importantes:

##### **✓ Sistemas de Distribución Eléctrica:**

- Inspecciones de Subestaciones Eléctricas y Transformadores de Potencia.
- Inspección de tableros de Control y Fuerza de Maquinaria en General.

- Inspecciones de Generadores Eléctricos.
  - Líneas de Distribución rurales y urbanas.
  - Inspecciones de Motores Eléctricos.
  - Inspección de conectores e interruptores de potencia.
- ✓ **Moldeo por inyección de plásticos:**
- Detección de fallas en sistemas de enfriamiento de moldes.
  - Reducción de ciclo de moldeo, al mejorar los tiempos de enfriamiento, por medio del análisis de temperaturas de las partes moldeadas.
  - Mejoras al diseño del sistema de enfriamiento en moldes.
  - Detección de fallas eléctricas en tableros de control y fuerza.
- ✓ **Desarrollo y Estructura de Edificios:**
- Inspección de pérdida de energía térmica para Edificios (plantas, hoteles, etc.).
  - Evaluación de la humedad para Edificios (plantas, hoteles, etc.).
  - Inspecciones de integridad del concreto.
  - Inspecciones en pisos sobrecalentados, localización de fugas y distribución de temperatura.
  - Identifica pérdidas y fugas de energía.
  - Localiza cables o tuberías sobrecalentados.
- ✓ **Sistema de Techado:**
- Detección de Goteras para edificios y naves industriales.
  - Identifica partes de techos dañados por el agua de una manera rápida y eficientemente.

- Documenta problemas antes de que las garantías u obligaciones expiren.

✓ **Sistemas Mecánicos:**

- Calderas.
- Inspección de quemadores por distribución de planta.
- Vista de la eficiencia de combustión de combustibles.
- Detecta diseños térmicos en tubos de Calderas y mide la temperatura de estas, mientras se encuentran operando normalmente o cuando los Calderas se encuentran en *stand-by*.
- Escanea y graba las temperaturas en áreas de Calderas no monitoreadas.
- Detección de fugas de gas en calderas de generación.
- Evaluación de equipos de aire acondicionado y calefacción.
- Detección de fugas en el aislamiento en equipos de refrigeración.

✓ **Aplicaciones petroquímicas:**

- Evalúa el proceso de refinería.
- Detecta la fuga o pérdida del aislamiento en el proceso de refinería.
- Evalúa la calidad y eficiencia de intercambiadores de temperatura.
- Inspecciona el aislamiento del horno refractario.
- Evalúa la flama interna del horno e inspecciona el tubo.
- Analiza la propagación de la explosión de la flama.

✓ **Equipo Electrónico:**

- Evaluación de circuitos impresos y detección de problemas.
- Mapas térmicos de semiconductores en tarjetas electrónicas.
- Evaluación de componentes en tarjetas electrónicas.

- Inspección de partes rechazadas en manufactura.
- Inspección de circuitos híbridos.
- Inspección de uniones soldadas.

✓ **Aplicaciones Ambientales:**

- Localización de áreas de acumulación de desechos antiguos.
- Localización de tanques bajo tierra en zonas industriales.
- Localiza y monitorea derrames de aceite.

✓ **Aplicaciones Aeroespaciales:**

- Ingreso de agua en aeroplanos, control de las superficies y aletas.
- Diagnóstico de llantas y sistema de frenos.
- Diagnóstico de parabrisas y superficie de alas.
- Identificación y localización de puntos de corrosión y de grietas.
- Localización de laminación en materiales y áreas despegadas.

✓ **Aplicaciones Médicas:**

- Localización de Tumores, enfermedades de la espalda.
- Auxiliar para Dentistas
- Evaluación de heridas de deporte, progresión de terapia.
- Examinación de heridas equinas (para caballos), cojera.

✓ **Aplicaciones Aéreas:**

- Inspección de tuberías, localización de fugas, corrosión, áreas agrietadas.

- Inspecciones ambientales, exceso de contaminación, calentamiento térmico en áreas de confinamiento de basura.
- Localización de incendios.
- Inspecciones aéreas eléctricas de alto voltaje para líneas de transmisión.
- Búsqueda y rescate.
- Búsqueda de sobrevivientes.

✓ **Turbinas de Vapor y Generadores Hidroeléctricos:**

- Localización de fallas internas laminares en el núcleo del estator.
- Auxiliar en el mantenimiento y control de calidad durante la reparación del núcleo del estator.
- Obtención de imagen térmica del estator que sirve como una estadística permanente de la condición del estator después de una reparación.

**c. Ventajas y desventajas de la termografía infrarroja.**

***Ventajas de la termografía infrarroja.*** La termografía, como mencionamos anteriormente la termografía infrarroja es una herramienta ideal en una gran variedad de aplicaciones, la cual nos brinda ventajas como por ejemplo:

- Las inspecciones se realizan a distancia y sin contacto con el objeto, lo cual disminuye el riesgo de accidentes para el personal que opera la cámara termográfica.
- No es necesario poner fuera de servicio a las instalaciones.

- Con este método se puede determinar con exactitud el elemento defectuoso.
- Permite cuantificar la gravedad del defecto, para programar las acciones de mantenimiento en el momento más oportuno.
- Aumenta la vida útil del equipo, reduciendo gastos por mantenimiento
- correctivo.

***Desventajas de la termografía infrarroja.*** Pero la termografía infrarroja también tiene sus desventajas o inconvenientes en algunas de las aplicaciones mencionadas, las cuales pueden ser:

- Capacidad limitada para la identificación de defectos internos, ya que el elemento defectuoso no puede manifestarse externamente por incremento de temperatura.
- Reflejos solares pueden provocar errores en la detección de fallas.
- El estado de carga puede influenciar en el momento de determinar la gravedad de la falla.
- Elevado costo del equipo, así como de la capacitación del personal (Termógrafo).

#### **d. Equipos para la captura de imágenes termográficas.**

El elemento principal para el sistema de termografía infrarroja, sin lugar a dudas lo constituye el sensor infrarrojo que por lo general es la cámara termográfica. Es importante mencionar que los equipos de medición

termográfica tienen su clasificación, de los cuales no todos muestran una imagen térmica, como lo veremos a continuación. Los equipos termográfico pueden ser:

- a) Equipos de medición radiométrica.
- b) Equipos de imagen térmica no – radiométrica.
- c) Equipos de imagen térmica y radiométrica.

Equipos de medición radiométrica. Este es el equipo más económico de todos, y es por esta razón que lo hace accesible a las instituciones. Su funcionamiento es bastante simple. Posee un láser el cual se debe apuntar a la superficie de interés, y su valor de temperatura es mostrado en una pantalla.

Como se puede notar este equipo (Figura 6) no muestra ninguna imagen térmica, y el valor de temperatura que es mostrado corresponde al área que abarca el punto del láser, con lo que el error es bastante considerable, además se pueden pasar por alto posibles puntos de falla.



Figura 6. Equipo de medición radiométrica  
*Equipos de imagen térmica no – radiométrica.*

Este equipo, físicamente consiste de un visor infrarrojo que nos muestra imágenes térmicas mediante una pantalla colocada en el mismo equipo.

El visor infrarrojo (Figura 7) nos permite realizar inspecciones cualitativas, para realizar el análisis de estas imágenes mediante la comparación con

patrones térmicos típicos de falla. Es importante recordar que con este equipo no podríamos determinar criterios de severidad.



Figura 7. Visor infrarrojo

***Equipos de imagen térmica y radiométrica.*** Este equipo es utilizado cuando se necesite una mayor precisión en el análisis de posibles puntos de falla, en donde se requiera la utilización de criterios de severidad para determinar la urgencia del mantenimiento. A este equipo se lo conoce con el nombre de cámara termográfica infrarroja.



Figura 8. Cámara termográfica infrarroja

La cámara termográfica infrarroja (Figura 8) es la más funcional de todas ya que nos ayuda a ejecutar la termografía cualitativa y cuantitativa

#### e. Principio de funcionamiento de la cámara termográfica

El funcionamiento de una cámara termográfica consiste básicamente en detectar la energía infrarroja de un objeto, convertirla en señales eléctricas y procesarlas para producir una imagen térmica que es visualizada en la pantalla.

Detectar el calor de un cuerpo se puede hacer de manera precisa con el fin de hacer un monitoreo térmico e identificar y evaluar la temperatura del objeto. Una cámara termográfica consta de tres partes principalmente:

**a) Receptor óptico:** Está compuesto por el lente, los filtros y el diafragma.

- ✓ **El lente:** es por acá por donde entra la energía infrarroja emitida por el objeto, el lente está hecho de un material transparente a la radiación infrarroja (Germanio o el Silicio) y son revestidos con anti-reflexivos para mejorar sus características ópticas y aumentar la eficiencia de transmisión de energía.
- ✓ **El diafragma:** Es denominado unidad de apertura y permite seleccionar la cantidad de energía que ingresa al sistema, la apertura se selecciona de acuerdo al nivel de temperatura que se desea observar.
- ✓ **El filtro:** Permite seleccionar la calidad de energía infrarroja que ingresa al sistema. Normalmente no se usa filtro, pero puede ser necesario un filtro especial cuando se desea ver y medir las temperaturas en termocuplas de piel de tubo en hornos, donde se deben eliminar los efectos perturbadores de la llama, los gases calientes, de igual manera se utilizan para eliminar supuestos puntos calientes provocados por

reflejos cuando se hacen inspecciones en lugares abiertos; de manera que el filtro elimina las longitudes de onda no deseadas.

- b) Detector infrarrojo:** Convierte la energía radiada en una señal eléctrica que posteriormente será procesada. Los detectores están contruidos con materiales semiconductores y operan a muy bajas temperaturas para evitar interferencias (por ruido térmico) y así obtener una relación señal/ruido que corresponda a la alta sensibilidad que poseen estas cámaras. La radiación infrarroja procedente de una gama específica de longitudes de onda golpea el óxido de vanadio y modifica su resistencia eléctrica. Los cambios de temperatura de la escena provocan cambios en la temperatura del bolómetro que se traducen en señales eléctricas y se procesan, para convertirlas en una imagen.
- c) Microprocesador y electrónica de control:** se encargan de manejar la salida de la imagen generada a partir de la interacción de los fotones de la energía emitida por el objeto y los electrones del material detector que genera una señal eléctrica proporcional a la energía que ingresa al sistema. Dentro de la cámara están ubicados cuerpos negros de referencia con los que se hace una comparación varias veces por segundo para así mantener un control permanente sobre la compensación (*offset*) y la ganancia, haciendo de la cámara un instrumento de altísima precisión en la medición de temperaturas.

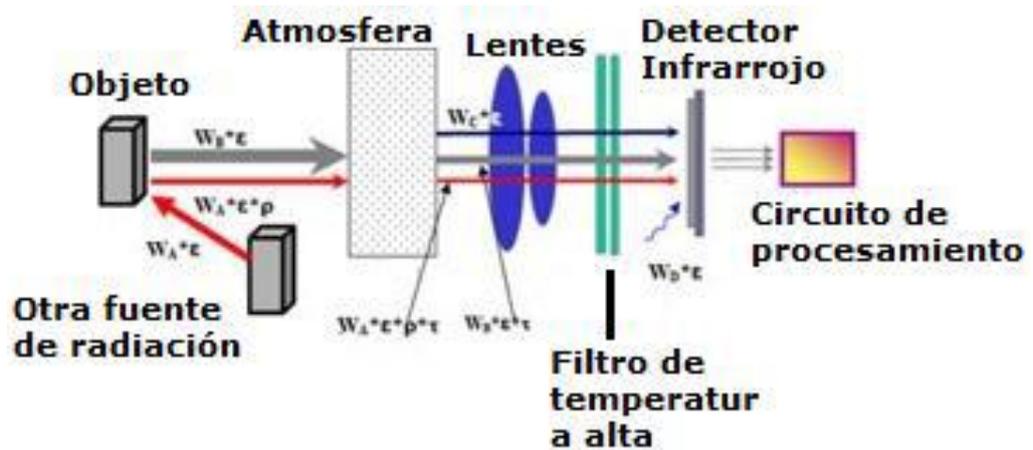


Figura 9. Partes de una cámara termográfica

En la Figura 10, observamos el principio básico de funcionamiento de la cámara termográfica. La cámara enfoca el objeto a ser analizado, la radiación infrarroja atraviesa el lente de la cámara y esta es enfocada en el detector.

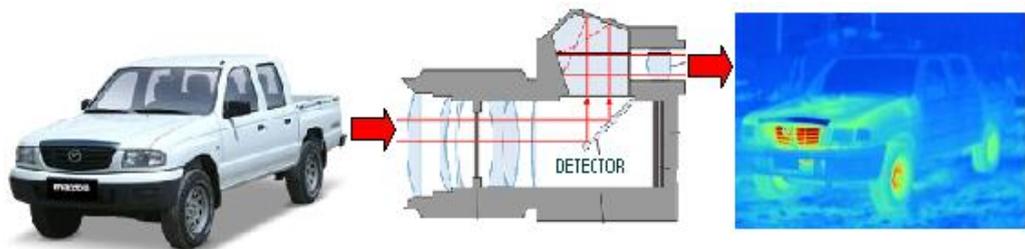


Figura 10. Principio básico de funcionamiento de una cámara termográfica.

El detector genera una señal eléctrica de algún tipo, que varía con la intensidad de la radiación infrarroja que incide sobre él. Observe: la intensidad, nada más. La señal eléctrica es amplificada y digitalizada, y procesada por la electrónica de la cámara. Es entonces cuando se

convierte en una imagen que es visualizada en el visor, y que podemos ver como una imagen infrarroja.

#### **2.2.5. Inspección termográfica de instalaciones eléctricas**

El equipo que se va a inspeccionar presenta un comportamiento determinado en cuanto a la temperatura, que el termógrafo debe conocer antes de llevar a cabo la inspección. En el caso del equipo eléctrico, el principio físico de por qué los fallos muestran un patrón de temperatura diferente debido a un aumento de la resistencia o de la corriente eléctrica es bien conocido.

No obstante, resulta útil recordar que en algunos casos, por ejemplo en las trampas de ondas, el calentamiento es natural y no corresponde a un defecto del desarrollo. En otros casos, como en las conexiones de los motores eléctricos, el calentamiento puede depender del hecho de que las piezas en buen estado están afrontando toda la carga y por lo tanto se recalientan.

Por lo tanto, las piezas defectuosas del equipo eléctrico pueden indicar calentamiento o estar más frías que los componentes normales en buen estado. Es necesario conocer los comportamientos esperados, recopilando tanta información como sea posible sobre el equipo antes de inspeccionarlo.

Una evaluación correcta en cada caso específico requiere información detallada sobre el comportamiento térmico de los componentes, es decir,

es necesario conocer la temperatura máxima permitida para los materiales implicados y el papel que juega el componente en el sistema.

El aislamiento de los cables, por ejemplo, pierde sus propiedades aislantes a partir de cierta temperatura, lo que aumenta el riesgo de incendio. En el caso de los seccionadores, si la temperatura es demasiado alta, podrían fundirse, con lo que resultaría imposible abrirlos y quedarían inutilizados.

**a. Inspección**

La preparación de la inspección debe incluir la elección del tipo de informe adecuado. Suele ser necesario utilizar equipo complementario, como un anemómetro si se desea medir la velocidad del viento durante la inspección de equipos exteriores.

Las funciones automáticas ayudan al operador a visualizar una imagen de infrarrojos de los componentes con el contraste adecuado para identificar fácilmente un fallo o punto caliente. Resulta casi imposible pasar por alto un punto caliente en un componente examinado. Una función de medición también muestra automáticamente el punto más caliente dentro de una zona de la imagen, o bien la diferencia entre la temperatura máxima de la zona seleccionada y una referencia que puede elegir el operador, por ejemplo la temperatura ambiente.

**b. Clasificación e Informes**

Tradicionalmente, la generación de los informes ha sido la etapa del proceso en la que se emplea más tiempo. Una inspección de un día puede requerir uno o dos días de trabajo para clasificar los defectos detectados y

generar un informe sobre ellos. Esta situación sigue dándose en el caso de muchos termógrafos, que han decidido no aprovechar las ventajas que los equipos informáticos y el software de informes actual ha proporcionado a la supervisión de estado por infrarrojos.

La clasificación de los defectos proporciona un medio con más detalles que no solo tiene en cuenta la situación en el momento de la inspección (que ciertamente tiene gran importancia), sino también la posibilidad de normalizar los excesos de temperatura para que se ajusten a situaciones de carga y temperatura ambiente normales.

Un exceso de temperatura de +30°C (+86°F) es ciertamente un fallo significativo. Pero si ese exceso de temperatura es válido para un componente que funciona con una carga del 100% y para otro que funciona al 50%, resulta evidente que el último alcanzará una temperatura mucho más elevada si su carga aumenta del 50% al 100%. Este estándar puede elegirse en función de las circunstancias de la planta. No obstante, lo más frecuente es realizar predicciones de temperaturas para una carga del 100%. Un estándar hace que resulte más sencillo comparar los fallos a lo largo del tiempo y, por tanto, realizar una clasificación más completa.

#### **2.2.6. Técnica de medición para la inspección termográfica de instalaciones eléctricas**

Una imagen térmica puede mostrar elevadas variaciones de temperatura:

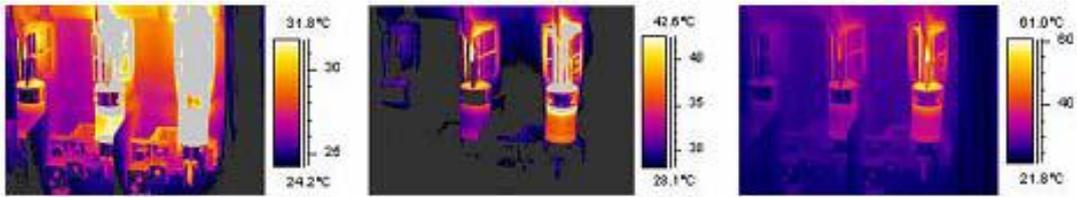


Figura 11. Variaciones de temperatura en una caja de fusibles.

Fuente: Flir Systems: TermaCAM. User`s Manual (2006).

En las imágenes anteriores, el fusible de la derecha tiene una temperatura máxima de +61°C (+142°F), mientras que el de la izquierda tiene una temperatura máxima de +32°C (+90°F) y el de en medio está entre ambas temperaturas.

#### a) Medición de Temperatura

La imagen siguiente muestra el aspecto que presenta al operador.

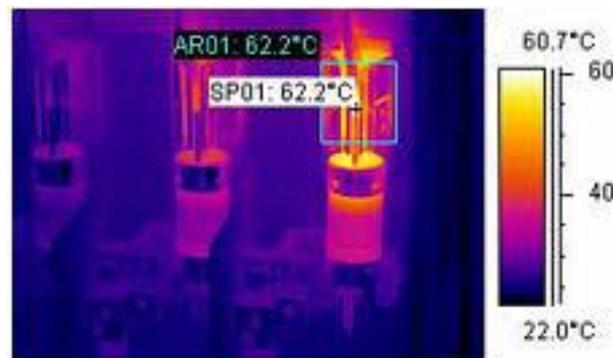


Figura 12. Imagen de infrarrojos de una caja de fusibles que muestra la temperatura máxima.

Fuente: Flir Systems: TermaCAM™ User`s Manual (2006).

La temperatura máxima de esta zona es de +62,2°C (+144,0°F). El medidor del punto muestra la ubicación exacta del punto caliente. La imagen puede almacenarse fácilmente en la memoria de la cámara. No obstante, la medición correcta de la temperatura no sólo depende de la función del

software de evaluación o de la cámara. Puede ocurrir que el fallo real sea, por ejemplo, una conexión que la cámara no detecte en la posición en que se encuentre en ese momento. Puede ocurrir que mida el calor, conducido desde una cierta distancia, mientras que el punto caliente real permanece oculto. En la imagen siguiente observará un ejemplo.

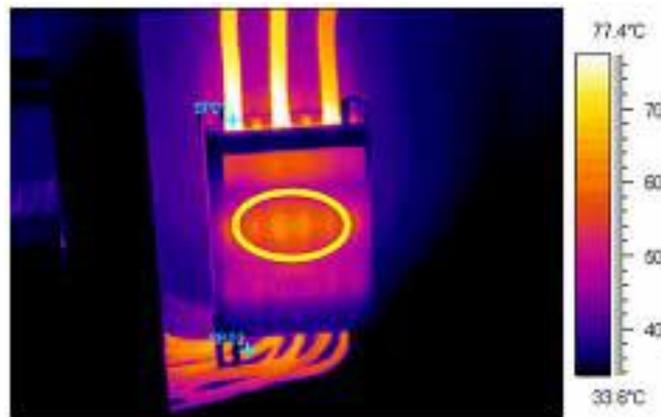


Figura 13. Punto caliente oculto en una caja.

Fuente: Flir Systems: TermaCAM™ User's Manual (2006).

## b) Temperatura Normal de Funcionamiento

La medición de temperatura mediante la termografía, normalmente proporciona la temperatura absoluta del objeto. Para evaluar correctamente si el componente está demasiado caliente, es necesario conocer su temperatura de funcionamiento, es decir, temperatura normal si tenemos en cuenta la carga y la temperatura del entorno. El exceso de temperatura es la diferencia entre la temperatura de un componente normal y la de un componente vecino. Es importante comparar entre ellos los mismos puntos de las diferentes fases. A modo de ejemplo, observe las siguientes imágenes realizadas a un equipo de interior:



Figura 14. Imagen de infrarrojos de equipo eléctrico interior.  
Fuente: Flir Systems: ThermoCAMTM User`s Manual (2006).

Las dos fases de la derecha muestran claramente un exceso de temperatura. De hecho, la temperatura de funcionamiento de la fase izquierda es de +68°C (+154°F), es decir, una temperatura importante, mientras que la fase defectuosa de la derecha muestra una temperatura consideradas normales. Esto significa un exceso de temperatura de +18°C (+33°F), es decir, un fallo que precisa atención urgentemente.

### c) Factores de interferencias en la inspección termográfica de instalaciones eléctricas

Durante la inspección termográfica de diferentes tipos de instalaciones eléctricas, algunos factores de interferencias como el viento, la distancia al objeto, la lluvia, suelen influir en los resultados de las mediciones.

#### ✓ Viento

En las inspecciones exteriores debe tenerse en cuenta el efecto refrigerante del viento. Un recalentamiento medido a una velocidad de viento de 5 m/s (10 nudos) será aproximadamente el doble de elevado

que uno medido a 1 m/s (2 nudos). Un exceso de temperatura medido a 8 m/s (16 nudos) será 2,5 veces superior a uno medido a 1 m/s (2 nudos). Este factor de corrección, basado en mediciones empíricas, normalmente es aplicable hasta 8 m/s (16 nudos).

No obstante, hay casos en los que es necesario realizar inspecciones incluso con vientos superiores a 8 m/s (16 nudos). Hay muchos lugares con fuertes, pero es importante saber que los componentes recalentados que se detecten mostrarían unas temperaturas mucho más elevadas con una velocidad de viento inferior. Es posible calcular el factor de corrección empírico.

**Tabla 3.** Factor de Corrección de Temperatura por Viento.

Velocidad del viento (m/s)	Velocidad del viento (nudos)	Factor de corrección
1	2	1
2	4	1.36
3	6	1.64
4	8	1.86
5	10	2.06
6	12	2.23
7	14	2.40
8	16	2.54

Fuente: Flir Systems: TermaCAM User`s Manual (2006).

El recalentamiento medido multiplicado por el factor de corrección indica el exceso de temperatura sin viento (es decir, a 1 m/s o 2 nudos)

### ✓ **Lluvia**

La lluvia también tiene un efecto refrigerante sobre el equipo eléctrico. La medición termográfica puede llevarse a cabo con resultados satisfactorios en situaciones de llovizna. La calidad de la imagen se deteriorará en situaciones de lluvia intensa y no será posible realizar mediciones fiables. Esto se debe principalmente a que la lluvia intensa es impenetrable para la radiación infrarroja, y la cámara mide en estos casos la temperatura de las gotas de lluvia.

### ✓ **Distancia al Objeto**

La imagen de la Figura 15 fue tomada desde de 1 metro (3 pies) y los °C (+100,2°F). El valor de la medición después de cambiar la distancia a 20 metros (66 pies) justo a continuación, aparece en la imagen de la derecha, en la que la temperatura corregida es de +38,8°C (+101,8°F). La diferencia no es demasiado importante, pero en algunos casos puede hacer que el fallo tenga un tipo de gravedad diferente. De un helicóptero a 20 metros (66 pies) de distancia de la conexión defectuosa. Esta distancia se definió incorrectamente como resultados de la medición de temperatura fueron de +37,9 modo que no debe subestimarse la importancia de la configuración de la distancia.

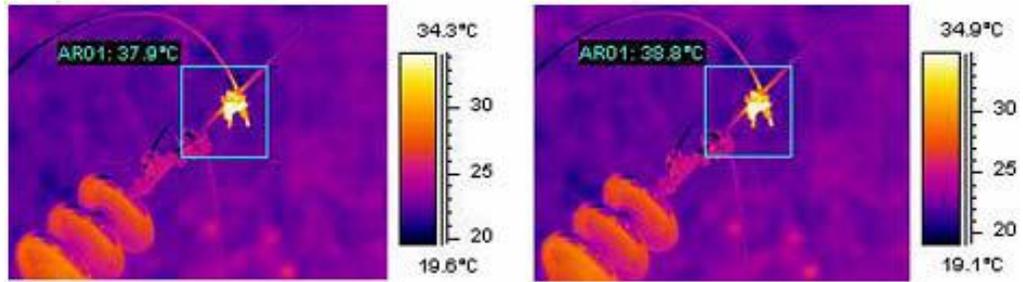


Figura 15. Izquierda: Configuración de distancia incorrecta; Derecha: Configuración de distancia correcta.

Fuente: Flir Systems: TermaCAM™ User`s Manual (2006).

- ✓ **Tamaño de Objeto** La segunda serie de imágenes a continuación muestra lo mismo, pero con la lente normal de 24°. En este caso, las temperaturas medias medidas del cuerpo negro de +85°C (+185°F) son las siguientes: +84,2°C (+183,6°F), +83,7°C (+182,7°F), +83,3°C (+181,9°F), +83,3°C (+181,9°F), +83,4°C (+181,1°F) y +78,4°C (+173,1°F). El último valor, (+78,4°C [+173,1°F]), es la temperatura máxima, dado que no era posible colocar un círculo dentro de la imagen (en ese momento muy pequeña) del cuerpo negro. Obviamente, no es posible medir valores correctos si el objeto es demasiado pequeño. La distancia estaba configurada adecuadamente a 10 metros (33 pies).

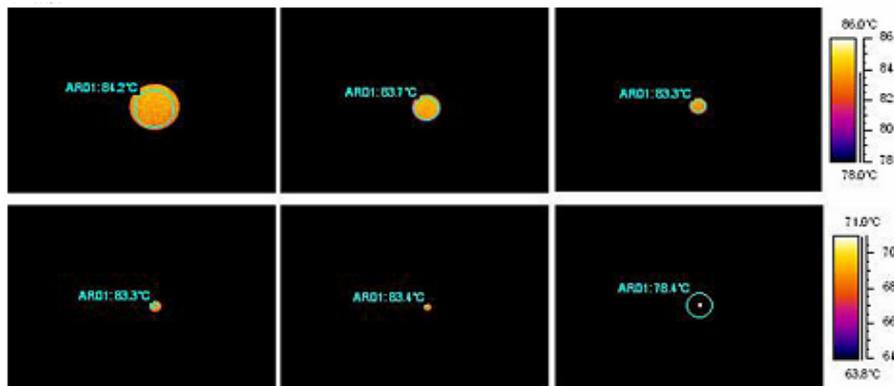


Figura 16. Lecturas de temperatura de un cuerpo negro a +85°C (+185°F) con distancias cada vez mayores (lente de 24°).

Fuente: Flir Systems: TermaCAM™ User`s Manual (2006).

El motivo de este efecto es que hay un tamaño de objeto mínimo para que sea posible proporcionar una medición de temperatura correcta. Todas las cámaras infrarrojas indican al usuario dicho tamaño mínimo. Este efecto se debe a imperfecciones en la óptica y al tamaño de los elementos del detector. Es lo normal en todas las cámaras de infrarrojos y no es posible evitarlo.

#### **d) Fallas posibles a detectar mediante la termografía**

A continuación se describen algunas de las aplicaciones más comunes de la termografía en plantas industriales.

##### **a. Inspecciones Termográficas en instalaciones eléctricas.**

Las aplicaciones eléctricas, representan la primera y principal aplicación de la termografía infrarroja, los componentes eléctricos de alta y baja tensión son candidatos naturales para el uso de esta técnica.

La gran mayoría de las fallas en sistemas eléctricos tienen relación con el incremento de la resistencia eléctrica, producto de malas conexiones, sobrecargas, cortocircuitos, etc.

Gracias a la termografía infrarroja, los riesgos de golpes eléctricos se reducen al mínimo, puesto que no es necesario el contacto para realizar una medición de temperatura. Su principal función es encontrar puntos calientes o fríos que representen una anomalía.

Para la termografía toda superficie en que la temperatura supere o esté por debajo de la normal de operación, es denominada excepción.

Generalmente se asocia una excepción a un alza de temperatura.

Dentro de las causas más comunes en las que se producen incrementos de la temperatura en sistemas eléctricos, están: alta resistencia eléctrica, corto circuitos, corrientes inductivas y tierras energizadas.

Es posible encontrar también temperaturas inferiores a las normales de operación, con esto es posible determinar: circuitos abiertos, componentes inoperativos, etc.

En las instalaciones eléctricas, la detección de un componente defectuoso se basa principalmente en la elevación anormal de su temperatura, en función del aumento de resistencia óhmica debido a la oxidación, corrosión o falta de contacto. En los inicios el problema se manifiesta con una pequeña alza de temperatura, la cual con el paso del tiempo o con un incremento en la carga circulante, alcanza niveles de temperatura que pueden reflejarse en un acelerado envejecimiento del componente.

Cuando se alcanzan niveles de temperaturas demasiado altos, con respecto a los niveles de temperatura normales, es muy probable que se produzca un daño irreversible al componente y al sistema completo, incluso no es exagerado pensar en un daño catastrófico (incendio, explosiones, etc.). A esto se debe sumar que existe una valiosa pérdida de producción.

El aumento de la resistencia produce por efecto Joule el calentamiento de los componentes, de esta forma, los componente defectuoso aparecen en la imagen térmica como un punto caliente comparado con el ambiente o bien componentes similares en buen estado.

La potencia disipada por un componente de acuerdo a la ley de Joule es:

$$P = IR$$

, donde:

$P$  = potencia disipada

$I$  = intensidad de corriente que recircula

$R$  = resistencia eléctrica

La ley de Joule establece que la potencia disipada en un elemento, es igual al cuadrado de la corriente multiplicado por la resistencia. Considerando la corriente relativamente constante, es la resistencia la que influirá directamente en un cambio en la potencia disipada. En las instalaciones eléctricas el aumento de la resistencia de debe generalmente a:

- ✓ Conexiones sueltas
- ✓ Conexiones sucias
- ✓ Conexiones corroídas y/o sulfatadas
- ✓ Mal contacto en la conexión
- ✓ Adelgazamiento del conductor (corte de hebras en cables)

En otras ocasiones el aumento en la potencia disipada se produce por un aumento en la corriente circulante a causa de:

- ✓ Sobrecargas
- ✓ Desequilibrio de fases
- ✓ Cortocircuitos

Un punto caliente detectado por un termograma en un componente eléctrico, puede ser ocasionado por una o más de las siguientes razones:

- i. Reflexiones: Algunos componentes tienen superficies metálicas brillantes con buena capacidad de reflexión. Especialmente en días despejados ocurren reflexiones solares, las cuales también pueden ser causadas por objetos adyacentes que reflejan en las superficies brillantes. Por lo que se recomienda llevar a cabo las inspecciones con el sol entrando o en la noche.
- ii. Absorción de la luz solar: Una superficie con un alto factor de emisividad, reacciona en forma muy diferente a la radiación solar. Además de aparecer, algunas reflexiones solares, la superficie también será calentada por el sol.
- iii. Carga: En los sistemas trifásicos, es difícil comparar las tres fases unas con otras, por ejemplo cables, interruptores, etc. Una carga nivelada por fase puede resultar en una muestra uniforme de temperatura para las tres fases. Puede sospecharse una falla si la temperatura de una de las fases difiere considerablemente de las otras o restantes.

- iv. Variaciones de emisividad: Donde las superficies de un conductor de carga que tiene diferentes emisividades, el termograma se verá como si dicho conductor tuviera sobrecalentamientos en varios puntos. Pero como una baja emisividad significa alta reflectividad, puede ser un objeto caliente.
- v. Aumento de la resistencia: Los sobrecalentamientos no ocasionados por alguna de las razones mencionadas anteriormente, pueden tener varios orígenes. Los más comunes se describen a continuación:
  - ✓ Baja presión de contacto: puede ocurrir cuando se monta una junta, o por causa de deterioro del material, por ejemplo disminución de resortes, deterioro en los filetes de pernos y tuercas, excesivamente apretados durante el montaje. Con el incremento de la carga y la temperatura, se excede el límite elástico del material y la tensión disminuye.
  - ✓ Oxidación de las superficies de contacto: consiste en un aumento progresivo de la resistencia, la cual puede incluso estar presente desde la etapa misma del montaje. Los nuevos materiales conductivos usados en las instalaciones eléctricas, tales como el aluminio, son usualmente afectados por corrosión galvánica que también provoca un aumento de la resistencia. La corrosión galvánica es causada por la humedad y el oxígeno, afectando las superficies de contacto. Los materiales no inertes son corroídos con decrecimiento de la presión de contacto como consecuencia.
  - ✓ Otra causa del incremento de la resistencia pueden ser la falla de material o construcción impropia de juntas.

## **b. Delta “T”**

Una delta T es una medida de diferencia de temperatura entre la temperatura actual del componente estropeado y alguna temperatura de referencia. La medida delta T es utilizada para determinar cuánto se aleja la anomalía del valor normal, a esto le llamamos una medida cuantitativa y cualitativa.

Se necesita establecer una referencia de lo que se considera como normal, algunas veces se utilizan especificaciones del fabricante o datos históricos. En los equipos eléctricos la referencia es a menudo el componente correspondiente de otra fase, suponiendo que la carga sea la misma. Se supone que el componente de referencia tiene la temperatura que la componente correspondiente de la otra fase suponiendo que la carga sea la misma, se supone que la componente de referencia tiene la temperatura que el componente estropeado deberíamos tener si estuviera en perfectas condiciones.

Criterio de fallos de acuerdo a su gravedad de un problema

-  **CLASE “0”-Sin anomalía;** Ninguna acción
-  **CLASE “1”-Fallo de nivel bajo;** Una anomalía que requiere un monitoreo pero que se reparara cuando sea conveniente.
-  **CLASE “2”-Fallo de nivel medio;** Reparación tan pronto sea posible
-  **CLASE “3”-Fallo grave;** Reparación inmediata

### **2.2.7. Normas y publicaciones técnicas sobre termografía**

Para la determinación y revisión de datos y límites de condición aceptable en la implementación del mantenimiento predictivo se destacaron cuatro factores importantes, la experiencia del personal de mantenimiento, los datos históricos tales como patrones termográficos, recomendaciones del fabricante y por último acoger los criterios técnicos de alguna norma reconocida o publicación técnica en base a los cuales se pueda hacer un diagnóstico más puntual de la severidad de la falla.

✓ **Internacional estándar ISO 18434–1 supervisión de las Condiciones y diagnóstico de máquinas - termografía.**

Esta norma proporciona una tendencia a la aplicación de la termografía infrarroja (IRT) para el monitoreo de condición de la maquinaria y del diagnóstico, donde se incluyen máquinas eléctricas, válvulas, equipos de intercambiador de calor.

Además se introducen la terminología en lo que respecta a la monitorización de estado y diagnóstico de las máquinas, se describen los tipos de procedimientos incluidas las normas de seguridad con sus méritos. La norma Brinda orientación sobre el establecimiento de criterios de evaluación de la gravedad de las anomalías, datos y criterios de evaluación y de información; que nos proporciona los procedimientos para la determinación y compensación de temperatura aparente reflejada y emisividad.

Según la norma existen dos técnicas para practicar termografía comparativa:

**a) Termografía Cualitativa.-** consiste en realizar el análisis de la imagen térmica o termograma para posteriormente localizar anomalías y evaluar posibles fallas en algún componente del equipo.

**b) Termografía Cuantitativa.-** se basa en utilizar la medida de temperatura de los patrones de radiación infrarroja para determinar la gravedad de una falla en el componente del equipo y por ende establecer la prioridad de su reparación. Mediante la termografía infrarroja cuantitativa obtenemos varios criterios de severidad que nos servirán para determinar la gravedad de algún problema.

A continuación se presenta una comparación entre estos dos tipos de termografía infrarroja.

Tabla 4. Técnicas de Mantenimiento

<b>Comparación de técnicas cualitativas y cuantitativas</b>	
<b>Cualitativo</b>	<b>Cuantitativo</b>
Analiza patrones térmicos en la imagen.	Utilizado para ayudar a clasificar la seriedad de una anomalía.
Determina si hay alguna anomalía	Implica medida de temperatura.
Determina donde está.	Se realiza compensación.
Solo temperatura aparente.	No siempre es relevante.
Normalmente se lleva a cabo primero.	Determina la prioridad de reparación de una falla.

Fuente: INFRARED TRAINING CENTER,  
Manual De Curso Nivel 1, 01 de Marzo del 2003

✓ **International Electrical Testing Association (NETA)**

La norma NETA (Asociación Internacional de Pruebas Eléctricas) proporciona los criterios mostrados en tabla 5 de clasificación de fallas eléctricas, en la cual se compara la temperatura del punto de interés con la temperatura ambiente o con la temperatura de un punto similar en buenas condiciones.

Definición de las prioridades:

- Investigar: Los gradientes de temperatura de 1°C a 3°C indican posible deficiencia y es necesaria realizar una investigación.
- Deficiencia: Los gradientes de temperatura de 4° a 15°C indican deficiencia; la reparación debe ser realizada tan pronto como sea posible.
- Primordial: Los gradientes de temperatura mayores que 16 °C indican una deficiencia importante; la reparación debe ser realizada inmediatamente.

Sin embargo, como apoyo a estos criterios de diagnóstico es conveniente tomar nota del nivel de carga del circuito, y del balance de corrientes en sistemas trifásicos.

Según esta norma, el reporte de termografía debe incluir lo siguiente:

- Descripción del equipo a ser inspeccionado.
- Discrepancias.
- Diferencia de temperatura entre el área concerniente y el área de referencia.

- Causa probable de la diferencia de temperatura.
- Áreas inspeccionadas. Identificar las áreas y equipos inaccesibles y/o no observables.
- Identificar las condiciones de carga en el momento de la inspección.
- Tomar fotografías y/o termogramas del área deficiente.
- Acción recomendada.

Tabla 5. Acciones sugeridas basadas en incrementos de temperatura.

Clasificación de fallas eléctricas según <b>NETA</b> (International Electric Testing Association )			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• O/A: Por encima de la temperatura ambiente</li> <li>• O/S: Por encima de la temperatura de un punto similar</li> </ul>			
Nivel	Diferencia de Temperatura	Clasificación	Acción
1	1°C - 10°C O/A ó 1 °C a 3°C O/S	Baja	En observación / Puede Esperar.
2	11°C - 20°C O/A ó 4°C a 15°C O/S	Media	Realizar mantenimiento en la próxima parada disponible.
3	21°C - 40 °C O/A ó >15 °C O/S	Alta	Reparar tan pronto como sea posible.
4	>40 °C O/A ó >15 °C O/S	Critica	Reparar inmediatamente

Fuente: NETA. Inspecciones con termografía.

# CAPITULO III

## MATERIALES Y METODOS

### 3.1. Materiales/ Equipos

#### 3.1.1. Cámara Termográfica FLIR T200

Cámaras potentes ideales para la inspección eléctrica y mecánica. Pantalla táctil LCD 3.5" y lentes giratorios de 120°; produce imágenes ultra nítidas de altas resolución. El enfoque automático y manual y los lentes intercambiables proporcionan óptima comodidad y adaptabilidad, como se muestra en la figura 17.



Figura 17. Cámara termográfica FLIR T200

La nueva funcionalidad Fusión Térmica de FLIR T permite la identificación e interpretación más fácil de las imágenes infrarrojas. Esta tecnología avanzada mejora el valor de una imagen infrarroja permitiendo que se sobreponga sobre la imagen visible correspondiente.

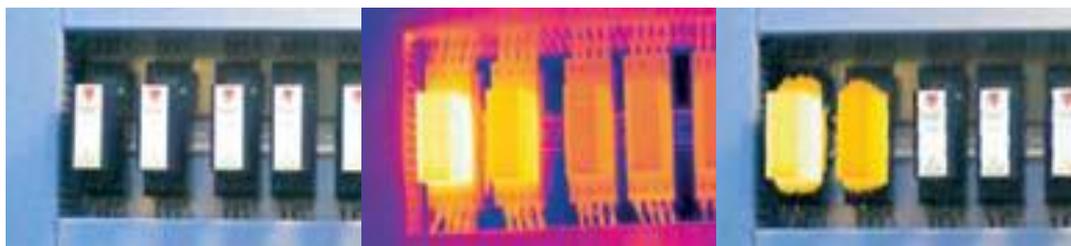


Figura 18. Imágenes variables de la cámara FLIR T200

Tabla 6. Especificaciones técnicas del equipo termográfico i60

Modelo	FLIR T200	FLIR T300	FLIR T360	FLIR T400
Tipo de la Cámara	Cámaras Termográficas Profesionales Serie-T			
Rango de temperatura	-20 a 350°C	-20 a 650°C	-20 a 650°C	-20 a 1200°C
Precisión	2%	2%	2%	2%
Sensibilidad térmica (NETD)	0.1°C a 30°C	0.05°C a 30°C	0.05°C a 30°C	0.05°C a 30°C
Dimensiones pantalla a color	3.5", Táctil	3.5", Táctil	3.5", Táctil	3.5", Táctil
Resolución del detector (píxeles)	240 x 180	320 x 240	320 x 240	320 x 240
Punto/Área	Punto, Áreas, Isotherma	Punto, Áreas, Isotherma, Delta T	Punto, Áreas, Isotherma, Delta T	Punto, Áreas, Isotherma, Delta T
Detecta temperatura alta/baja	Sí	Sí	Sí	Sí
Lentes	Intercambiables	Intercambiables	Intercambiables	Intercambiables
Enfoque	Manual, Auto	Manual, Auto	Manual, Auto	Manual, Auto
Puntero láser	Sí	Sí	Sí	Sí
Marcador láser en IR/ Visual	Sí	—	—	—
Zoom Digital	2x	2x	4x	8x
Almacenamiento de imágenes (SD)	>1000 imágenes	>1000 imágenes	>1000 imágenes	>1000 imágenes
Resolución de la cámara visual	3.1MP	3.1MP	3.1MP	3.1MP
Fusión (Imagen en Imagen)	Escalable	Escalable	Escalable y Movable	Escalable y Movable
Fusión Térmica	—	—	Intervalo	Intervalo; Arriba/Abajo
Lámpara de Iluminación	Sí	Sí	Sí	Sí
Galería de miniaturas	Sí	Sí	Sí	Sí
Pantalla Táctil	Sí	Sí	Sí	Sí
Comentarios de texto	—	—	Sí	Sí
Comentarios de Voz en Imágenes	60 segundos	60 segundos	60 segundos	60 segundos
Bosquejo	—	—	Sí	Sí
Resiste salpicaduras/polvo	IP54	IP54	IP54	IP54
Duración de la batería	>4 horas	>4 horas	>4 horas	>4 horas
Peso	880g	880g	880g	880g

Fuente: Guía cámaras termográficas FLIR, <http://mayoreoelectrico.com>; 2013.

Incluye el software QuickReport™ PC, el cual permite capturar y almacenar imágenes infrarrojas JPEG y a continuación revisar, analizar, presentar y distribuir según las necesidades. Permite cambiar el tamaño y ajuste de PIP (Picture in Picture) y las imágenes de fusión térmica de la cámara; ayuda a crear informes de inspección y es compatible con Microsoft Windows.

### **3.2. Método**

La investigación a realizar es de tipo no experimental, aplicativo; cuyo criterio de fuente de datos es primario. El estudio contempla, conceptos teóricos, funcionamiento de la cámara termográfica, conocimiento del software para el análisis de las imágenes infrarrojas, efectuando los monitoreos de los tableros eléctricos seleccionados y elaboración de reportes de termografía. Luego se recopila información técnica de los tableros de distribución eléctrica, la codificación de los equipos, el análisis de criticidad y la correcta estructuración de las rutas de inspección y la evaluación técnica – económica.

Dentro de los cuales se establecieron puntos de medición que se muestran en la lista de estructuras inspeccionadas en la tabla 7.

#### **3.2.1. Realización de inspección termográfica**

Para la realización de las inspecciones se siguió la siguiente metodología:

##### **a. Definición de la tarea**

El responsable del área previa coordinación con el representante de Hidrandina , recibió una orden de mantenimiento en el cual figura la radial a inspeccionar junto con los planos de dicha zona ,de ser necesario se enumera todo el equipamiento que desee supervisar o los diferentes lugares de inspección solicitados

Casi todas las empresas conservan registros de mantenimiento y producción. Estos registros muestran que equipos y /o radiales muestran una mayor tendencia a fallar o presentan mayor carga y por tanto debe ser inspeccionado más cuidadosamente. Además se debe tener en cuenta las

consecuencias del fallo .El equipamiento esencial se debe supervisar con más frecuencia y atención que el equipamiento que puede permanecer temporalmente fuera de servicio sin afectar la funcionalidad del proceso completo.

**b. Iniciar la inspección**

Luego de que se recibió la orden de mantenimiento señalando la radial a inspeccionar, se procedió a ir a la zona señalada para el inicio de la inspección. Para lo cual se debió disponer del equipamiento y/o material necesario para su ejecución. El supervisor responsable se encargó de realizar la charla de 5 minutos para lo cual se llenan los formatos correspondientes.

El operador de la cámara termográfica necesita comprender la tecnología y el funcionamiento del equipamiento inspeccionado para mejor identificación de posibles fallas.

**c. Análisis y creación de informes**

Cuando se inspeccionó toda la radial , se procedió a descargar las fotos de la memoria de la cámara , se realizó el análisis de las imágenes y si en caso de inconveniencias encontradas se describe la exacta ubicación de la inconveniencia, así también su descripción ,nomenclatura del equipo inspeccionado, código de estructura e imágenes termografías y digital del equipo inspeccionado .Luego se resumió las conclusiones en un informe el cual se presentó al coordinador de trabajos para su revisión.

### 3.2.2. Procedimiento rápido de inicio de actividades de medición

Lleve a cabo el siguiente procedimiento para empezar de inmediato:

- 1º Instale FLIR QuickReport en el equipo.
- 2º Conecte la cámara a un equipo mediante un cable USB.
- 3º Inicie FLIR QuickReport.
- 4º En la ficha Organizar, haga clic en Transferir imágenes y siga las instrucciones que aparezcan en pantalla para mover las imágenes de la cámara a la carpeta de destino del equipo.
- 5º En el panel de carpetas, acceda a la carpeta de destino.
- 6º En la ficha Analizar, añada herramientas de medida, cree o edite descripciones de imágenes, edite comentarios de texto, escuche los comentarios de voz, modifique los parámetros de objeto, etc.
- 7º En la ficha Informe, seleccione una plantilla de informe y mueva las imágenes que desee incluir en el informe al panel de informes mediante una operación de arrastrar y colocar.
- 8º Cree el informe.

### 3.2.3. Diagrama de flujo de trabajo

Al llevar a cabo una inspección de infrarrojos se sigue un flujo de trabajo típico. Esta sección proporciona un ejemplo de flujo de trabajo de inspección de infrarrojos.

- a) Utilice la cámara para capturar imágenes de infrarrojos o digitales.
- b) Realice una de las siguientes acciones:
  - **Método 1:** desplazamiento de las imágenes mediante un cable USB.

- **Método 2:** desplazamiento de las imágenes mediante una tarjeta *CompactFlash*.
  - **Método 3:** desplazamiento de las imágenes mediante una tarjeta de memoria SD.
- c) En FLIR QuickReport, lleve a cabo una o varias de las siguientes acciones:
- Modifique el modo de visualización de las imágenes.
  - Gestione los archivos.
  - Analice las imágenes.
  - Agregue y edite descripciones de las imágenes.
  - Agregue, edite o elimine comentarios de texto.
- d) Lleve a cabo una de las siguientes acciones para crear un informe de infrarrojos:
- Utilice una operación de arrastrar y colocar para crear un informe en la ficha Informe y haga clic en Crear informe.
  - Utilice una operación de arrastrar y colocar para mover imágenes de FLIR QuickReport a Microsoft® Word, agregue comentarios y descripciones y utilice Microsoft® Word para crear un informe.
  - Utilice una operación de arrastrar y colocar para mover imágenes de FLIR QuickReport a FLIR Reporter (un complemento para Microsoft® Word) y utilice FLIR Reporter para crear el informe.
  - En el menú Archivo, seleccione Crear informe de ThermoCAM mediante esta plantilla para enviar las imágenes seleccionadas a FLIR Reporter.

Visualizar la figura 19 para una explicación más dinámica:

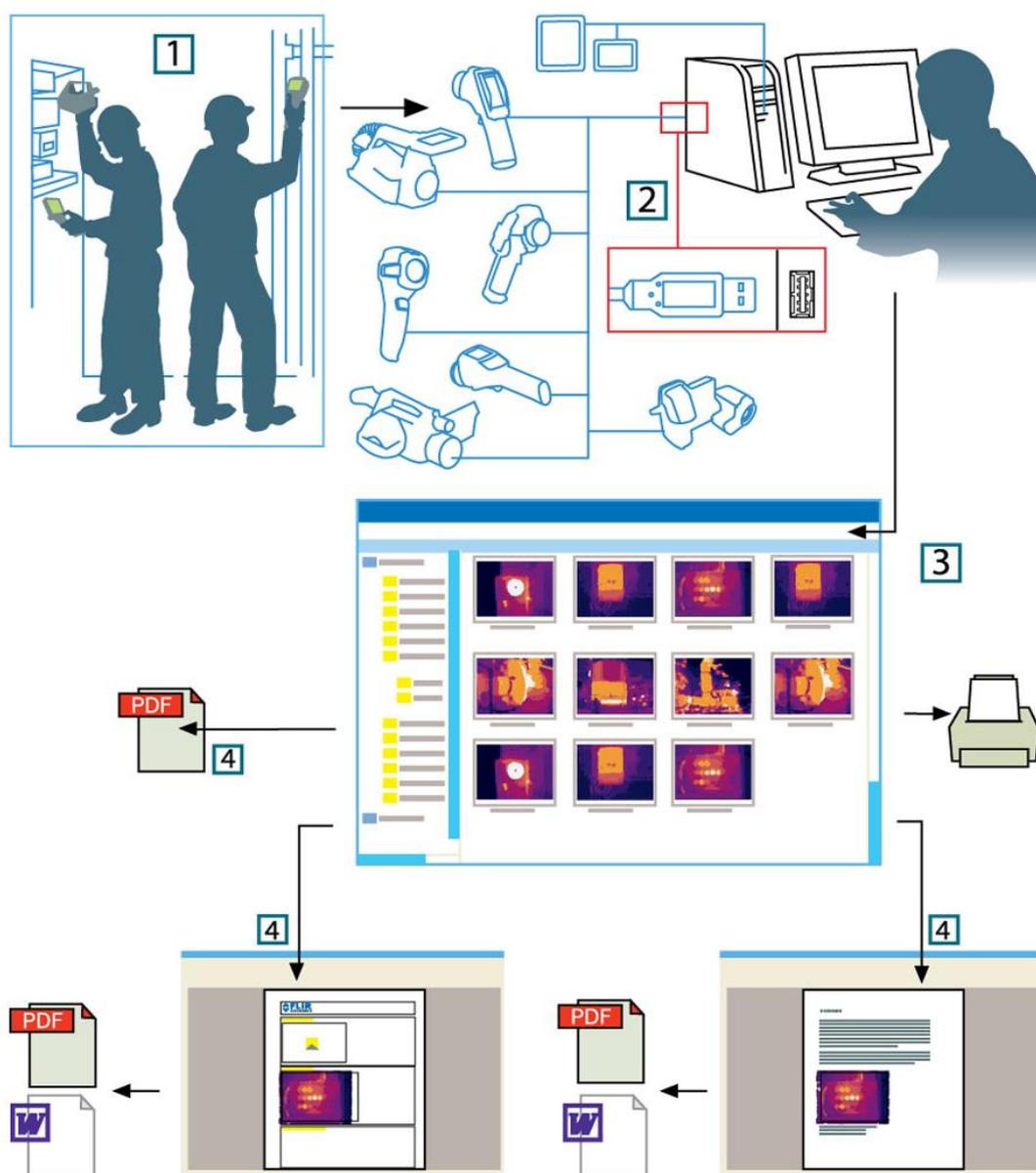


Figura 19. Flujo de trabajo utilizando cámara infrarroja  
Fuente: Manual del usuario QuickReport, 2013

**Leyenda del Flujo de Trabajo:**

- 1.-Fase 1:** Inspección de equipos establecidos
- 2.-Fase 2:** Desplazamiento de imágenes a la PC mediante clave usb
- 3.-Fase 3:** Verificación de datos
- 4.-Fase 4:** Elaboración de informes

# CAPITULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **4.1. Datos recopilados de la medición termográfica**

Para el análisis de la inspección termográfica, se toma como referencia las instalaciones eléctricas de baja tensión del servicio eléctrico Chimbote, considerando los tableros de distribución, caracterizando la zona de evaluación de la siguiente manera:

Nº OM	:	500140748
AMT	:	CHN011
Nombre del AMT	:	PARDO

La zona en referencia para la inspección termográfica se muestra en el mapa del Anexo I; desde el 04/12 hasta el 11/12 del 2014. Siguiendo la metodología del acápite 3.2.1.; sobre la realización de la inspección termográfica, se presenta a continuación 03 informes de inspección creados por el software FLIR Quick Report que incluyen uno o más imágenes de infrarrojos y fotos digitales, los cuales se almacenan en formato PDF.

En la tabla 07 se muestra el consolidado termográfico de la cámara infrarroja de los puntos evaluados en el sistema eléctrico de Jr. Manuel Ruiz y Av. Pardo; Jr. Villavicencio y Bolognesi, Elías Aguirre y Bolognesi, Carlos de los Heros y Malecón Grau, Av. Francisco Bolognesi y Jr. Carlos de los Heros, Leoncio Prado y Carlos de los Heros y Jr. Carlos de los Heros. El resto de puntos evaluados se presentan en el Anexo II.











Durante la medición se registró y evaluó 479 datos, identificándose 142 puntos calientes que representan el 30% de anomalías, de las cuales el 43% son críticas, como se muestran en las figuras 20 y 21.

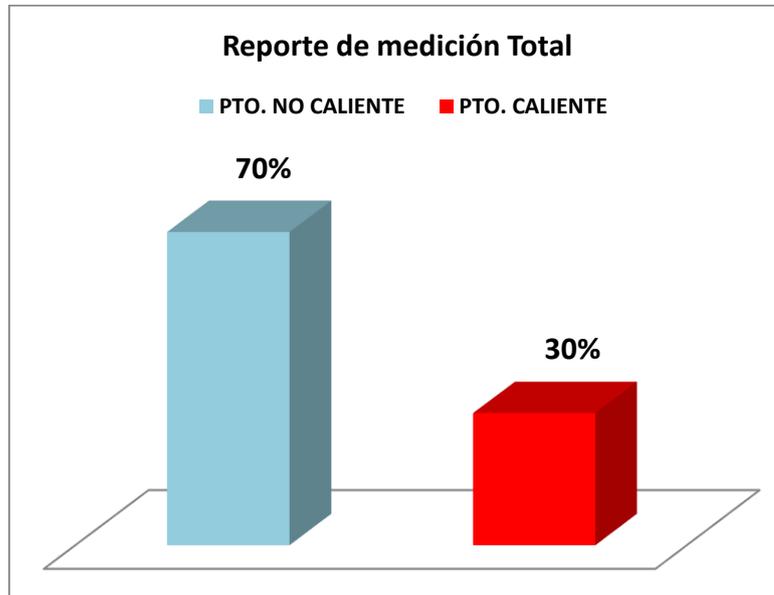


Figura 20. Porcentaje de puntos calientes

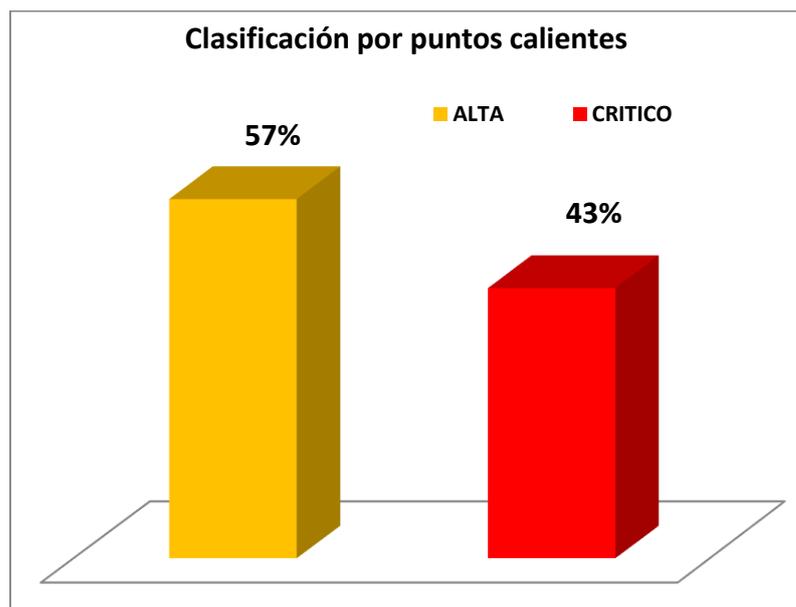


Figura 21. Registro de puntos calientes críticos

De la tabla N° 07, se puede observar que los mayores puntos calientes en las diferentes instalaciones y conexiones en los tableros eléctricos se presentan en las tomas de los Térmicos, los cuales representan un 33% (47 puntos calientes) mientras que los de menor observación se dan en las conexiones entre cabeza-terminal con un 5% (07 puntos calientes en M.T como referencia ); lo cual se presentan en el siguiente gráfico.

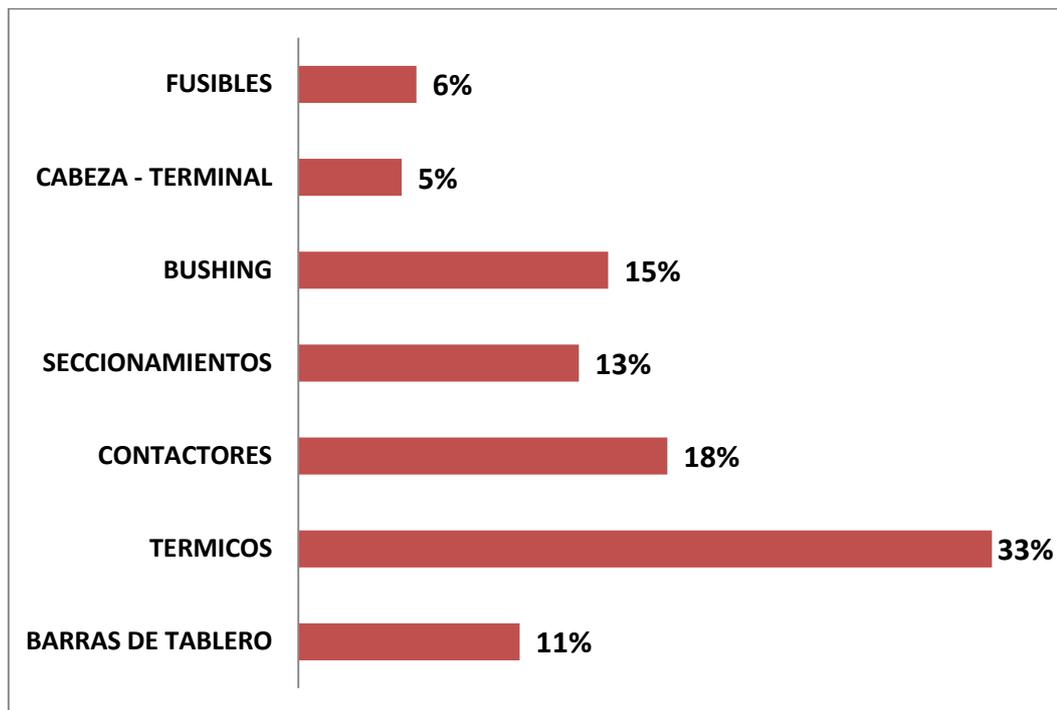


Figura 22. Mayor frecuencia de problemas por puntos calientes en las diferentes conexiones en los tableros eléctricos

#### 4.2. Disponibilidad de equipos e instalaciones eléctricas

Una de las herramientas para determinar la calidad de la energía eléctrica es a través de la disponibilidad de equipos en el sistema eléctrico, así como el número de interrupciones programadas y no programadas. Tal es así que, la disponibilidad de equipos es la relación entre la diferencia del

número de horas del periodo considerado (horas calendario), con el número de horas de intervenciones por el personal de mantenimiento (mantenimiento preventivo por tiempo o por estado, mantenimiento correctivo), para cada ítem observado y el número total de horas del periodo considerado.

$$Dispo. = \frac{\Sigma(HCAL - HTMN)}{\Sigma HCAL} \times 100$$

En el anexo IV se muestra las interrupciones que se ha realizado desde el año 2013 hasta noviembre del 2015 en la unidad de negocios de energía eléctrica de Chimbote. De aquí, se obtiene el número de interrupciones para la zona en estudio que comprende la CHN011 Pardo, el cual se resumen en la tabla 08 para los años 2013, 2014, 2015.

Para la interrupciones de los años 2014 y 2015, los motivos son por expansión y reforzamiento más no por fallas.

Utilizando la ecuación anterior, obtenemos la disponibilidad para cada año y su evolución considerando la aplicación del termógrafo en la revisión periódica.

### **Año 2013**

- N° de horas interrumpidas: 675
- N° de horas año disponibles: 720
- **Disponibilidad = 92.18%**

Tabla 08: Lista de interrupciones 2013, 2014 y 2015 de la zona en estudio que comprende la CHN011 Pardo

Elaborado: 27/11/2015 11:38:49 a.m.

Lista De Interrupciones

UnidadNegocio	Responsabilidad	Modalidad	NombreElementoElectricoOrigen	Nroservicio	FechaInterrupcion	FechaReposicion	Tiempo Parcial	Tiempo Total	ProteccionQueSeAct	EATSinVender	PotencialEst	AfectoAZonas
Chimbote	Distribución	Señalización del Sistema de Protección	A3124-CHN011 / CHN011 Pardo	3150	09/11/2013 03:33:00	09/11/2013 04:00:00	00:27:00	00:27:00	Interruptor	158.113	3462.6253	Urbano
Chimbote	Distribución	Señalización del Sistema de Protección	A3124-CHN011 / CHN011 Pardo	3149	19/10/2013 02:43:00	19/10/2013 03:13:00	00:30:00	00:30:00	Interruptor	175.6772	3462.5466	Urbano
Chimbote	Distribución	Señalización del Sistema de Protección	A3124-CHN011 / CHN011 Pardo	3126	23/09/2013 05:08:00	23/09/2013 05:09:50	00:01:50	00:01:50	Interruptor	10.8721	3505.9358	Urbano
Chimbote	Distribución	Señalización del Sistema de Protección	I341624-SBC PARDO NORTE / SBC PARDO NORTE	2333	09/06/2013 23:13:00	10/06/2013 00:14:00	01:01:00	01:01:00	Interruptor	0	2946.5982	Urbano
Chimbote	Distribución	Más de una modalidad	A3124-CHN011 / CHN011 Pardo	530	08/03/2013 04:20:00	08/03/2013 04:45:00	00:25:00	00:25:00	Interruptor	0	272.003	Urbano
Chimbote	Distribución	Más de una modalidad	A3124-CHN011 / CHN011 Pardo	3282	07/03/2013 17:57:00	07/03/2013 18:12:00	00:15:00	00:15:00	Otros	0	5599.4462	Urbano

Elaborado: 27/11/2015 11:49:16 a.m.

Lista De Interrupciones

UnidadNegocio	Responsabilidad	Modalidad	NombreElementoElectricoOrigen	Nroservicio	FechaInterrupcion	FechaReposicion	Tiempo Parcial	Tiempo Total	ProteccionQueSeActivo	EATSinVender	PotencialEst	AfectoAZonas
Chimbote	Distribución	Cuando una interrupción es programada	A3124-CHN011 / CHN011 Pardo	533	18/05/2014 07:00:00	18/05/2014 09:00:00	02:00:00	02:00:00	Interruptor	736.0049	3631.4184	Urbano
Chimbote	Distribución	Cuando una interrupción es programada	A3124-CHN011 / CHN011 Pardo	3139	09/02/2014 07:00:00	09/02/2014 14:07:00	07:07:00	07:07:00	Interruptor	2556.2059	3542.0583	Urbano

Elaborado: 27/11/2015 02:52:57 p.m.

Lista De Interrupciones

UnidadNegocio	Responsabilidad	Modalidad	NombreElementoElectricoOrigen	Nroservicio	FechaInterrupcion	FechaReposicion	Tiempo Parcial	Tiempo Total	ProteccionQueSeActivo	EATSinVender	PotencialEst	AfectoAZonas
Chimbote	Distribución	Cuando una interrupción es programada	A3124-CHN011 / CHN011 Pardo	3024	19/04/2015 07:07:00	19/04/2015 15:56:40	08:49:40	08:56:40	Interruptor	3329.2408	3721.524	Urbano

Fuente: Hidrandina 2015

#### **CHN011 PARDO:**

- N° de horas interrumpidas: 2.5
- N° de horas mes(año) disponibles: 8640
- **Disponibilidad: 99.97%**

#### **Año 2014**

- N° de horas interrumpidas: 636
- N° de horas año disponibles: 8640
- **Disponibilidad = 92.64%**

#### **CHN011 PARDO:**

- N° de horas interrumpidas: 0
- N° de horas mes disponibles: 8640
- **Disponibilidad: 100%**

#### **Año 2015 a noviembre del 2015**

- N° de horas interrumpidas: 623
- N° de horas año disponibles: 8016
- **Disponibilidad = 92.23%**

#### **CHN011 PARDO:**

- N° de horas interrumpidas: 0
- N° de horas mes disponibles: 8640
- **Disponibilidad: 100%**

En la figura 23 se puede apreciar la mejora en la calidad del sistema eléctrico a través de la disponibilidad de los equipos e instalaciones

eléctricas. En el anexo IV se define el motivo puntual que ocasiona la interrupción.

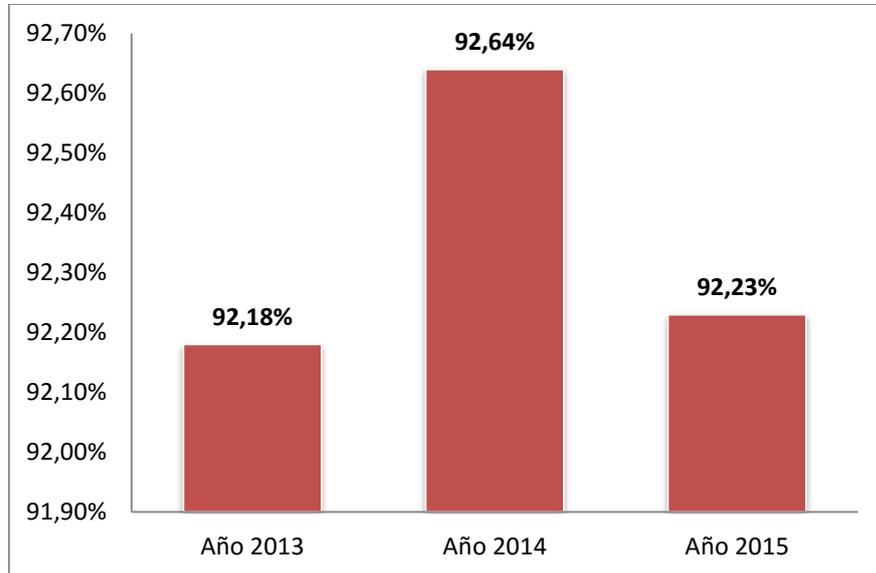


Figura 23. Disponibilidad de equipos y sistema eléctrico

De acuerdo con los resultados obtenidos en la AMT CHN011 PARDO, con la aplicación de la tecnología termográfica, la disponibilidad tanto de los equipos y las instalaciones eléctricas del sistema en estudio es del 100% lo que también implica un 100% de la seguridad del personal al no haber riesgo latente.

#### **4.3. Análisis económico del uso y aplicación de la termografía**

Como se mencionó anteriormente, la termografía es una herramienta que permite detectar posibles fallas dentro de los sistemas eléctricos de potencia, el cual se evidencia en las ventajas económicas que se pueden obtener y que son:

- ✓ Seguridad Personal.

- ✓ Disminución de interrupciones no programadas.
- ✓ Reducción de costos de operación y mantenimiento
- ✓ Prolonga la vida útil de los equipos.

De igual manera, con la ayuda de la termografía se pueden determinar índices que inciden en los costos reales de producción y son: Disponibilidad de equipos (analizados anteriormente) y gestión de mano de obra.

La gestión de costos es estimular la optimización del uso de mano de obra, cantidad de materiales, contratos y minimizar tiempos de paro; estableciendo objetivos atractivos desde el punto de vista de un beneficio potencial y el costo de mantenimiento. La gestión de costos debería abarcar 5 puntos, cada uno conformado por tres subcomponentes, como se indica a continuación.

Tabla 09: Gestión de costos

<b>Personal</b>	Directos	Salarios y comisión
	Indirectos	Recargos sociales y beneficios
	Administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de recursos humanos
<b>Material</b>	Directos	Reposición de material
	Indirectos	Capital inmovilizado y almacenaje
	Administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de compras
<b>Contratación</b>	Directos	Costos de los contratos
	Indirectos	Servicios y recursos utilizados por terceros
	Administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de administración
<b>Depreciación</b>	Directos	Costo de reposición
	Indirectos	Capital inmovilizado
	Administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de contabilidad
<b>Perdidas de facturación</b>	Directos	Perdida de Producción
	Indirectos	Pérdida de calidad
	Administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de control de calidad

Fuente: TAVARES, A. Administración Moderna del Mantenimiento, 2000

Dependiendo de los trabajos a realizar en un mantenimiento en tableros eléctricos de distribución, se debe considerar la complejidad y el carácter de la intervención; siendo estos parte importante para realizar una valoración de actividades.

En la tabla N° 10, se presenta una valorización de actividades para el mantenimiento de tableros eléctricos en la primera quincena del mes de diciembre del 2014 realizada por la empresa Pacifico Sur S.A. para la unidad de Negocios Chimbote, donde se considera tanto mano de obra como materiales a utilizar.

En la tabla N° 11, se presenta la valorización de una inspección termográfica para el mes de diciembre, la cual considera 161 puntos en las fechas establecidas.

Cabe mencionar que al hacer una comparación sobre las ventajas de realizar un mantenimiento, revisión y control de las instalaciones eléctricas en un tablero con y sin inspección termográfica son muy amplios, ya que no solo está el beneficio económico, técnico si no también el tema relacionado con seguridad de las personas.

Desde el punto económico, la termografía permite adelantarse a los posibles problemas que conllevaría un mantenimiento correctivo o una interrupción por falla, lo cual no solo es perjudicial para el sistema eléctrico si no también la calidad en el servicio que se brinda, disminuyendo enormemente los costos de operación.

**Tabla Nº 10: Valorización de actividades de mantenimiento de tableros eléctricos de distribución UUNN Chimbote - Periodo 01 al 15 Diciembre de 2014 - S.E. Chimbote**

Item	OM	DESCRIPCIÓN DE OM	Lugar Referencial	Codigo	Codigo SAP	Descripcion Actividad	Unidad	Cantidad	C. Unitario	C. Total	C.OM.	
1	500134801	(PS-M) Instalacion de tablero de distribucion de 100 kVA en la CH0099 del AMT Industrial, ubicado en el PP. JJ. El Porvenir - Jr. Aviacion.	PP.JJ. El Porvenir	SED013	5201680	Instalación/Cambio de tableros de distribucion	Tableros	1.00	206.25	206.25	206.25	
2	500141683	(PS-M) Levantamiento de observaciones en el interior de los tableros de distribucion (CH0071, CH0058, CH0739 y CH0479)	AMT Humbolt	SED014	5201247	Cambio y/o instalación de llaves termomagneticas,	Cjto.	3.00	30.02	90.06	391.41	
				SED015A	SED015A	Mantenimiento interno de Tablero con corte de ene	Und.	5.00	60.27	301.35		
3	500136575	(PS-M) Instalacion de tablero de distribucion en la CH0070 del AMT Humbolt, ubicado en la Urb. 21 de Abril, Mz. 13 - Jr. Jose Balta.	Urb. 21 de Abril	SED013	5201680	Instalación/Cambio de tableros de distribucion	Tableros	1.00	206.25	206.25	206.25	
4	500138087	(PS-M) Cambio de tablero de distribucion en la CH1318 del AMT Santa, ubicado en el AA.HH. San Miguel - Santa, por incendio en tablero de distribucion.	Santa	SED013	5201680	Instalación/Cambio de tableros de distribucion	Tableros	1.00	206.25	206.25	206.25	
5	500140438	(PS-M) Cambio de tablero de distribucion a nivel de piso de la CH0755 por aereo del AMT 7ma Sur, ubicado en UPIS Belen, Mz. A.	UPIS Belen	SED013	5201680	Instalación/Cambio de tableros de distribucion	Tableros	1.00	206.25	206.25	267.98	
				MT041	5201131	Instalar bloque de protección contra impacto	Und.	0.50	123.45	61.73		
6	500138532	(PS-M) Instalacion de tablero de distribucion en la CH0066 del AMT Humbolt, ubicado en la Urb. 21 de Abril, Mz. A12 - Jr. Jose Balta.	Urb. 21 de Abril	SED013	5201680	Instalación/Cambio de tableros de distribucion	Tableros	1.00	206.25	206.25	206.25	
7	500136981	(PS-M) Toma de carga en las siguientes SED's: CH0165, CH0164, CH0782, CH0163, CH0169, CH0170, CH0166, CH0167 y	AMT Florida	SED005	5201226	Registro de Carga y Tensión puntuales en SED's.	SED	12.00	26.06	312.72	312.72	
8	500137258	(PS-M) Reforzamiento de conductor de BT de la CH0471 del AMT 8va Sur, ubicado en la Urb. Bellamar, Mz. B5 lote 05.	Urb. Bellamar	BT030	5201194	Cambio de Conductor Autoportante	m	130.00	4.13	536.90	536.90	
9	500137482	(PS-M) Cambio de tablero de distribucion a nivel de piso de la CH0068, ubicado en la Urb. 21 de Abril, Mz. B2 - Jr. Jose Balta.	Urb. 21 de Abril	SED013	5201680	Instalación/Cambio de tableros de distribucion	Tableros	1.00	206.25	206.25	206.25	
										<b>SUB TOTAL S/.</b>	<b>2540.26</b>	<b>2540.26</b>
										<b>IGV (18%)</b>	<b>457.25</b>	<b>457.25</b>
										<b>TOTAL S/.</b>	<b>2997.50</b>	<b>2997.50</b>

Fuente: Pacifico Sur S.A., 2015

**Tabla N° 11: AVANCE DIARIO DE MANTENIMIENTO INSPECCIONES TERMOGRÁFICAS CONTROL DE O.M.  
EJECUTADAS DEL 02 AL 11 DE DICIEMBRE DEL 2014**

<b>A.M.T.</b>	<b>RADIAL - O.M.</b>	<b>Tipo de Costo Unit.</b>	<b>Cod. SAP</b>	<b>DESCRIPCION ACTIVIDAD</b>	<b>Costo Unit.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>VAROLIZACION DE OM (S/.)</b>	<b>FECHA EJEC.</b>	<b>MONTO (S/.)</b>
CHN011- PARDO	500140748	CH	MT-003	Inspecciones Termográficas en redes aéreas	15.51	11	170.61	02/12/2014	263.52
		CH	SED-003	Inspecciones Termográficas en SED's	30.97	3	92.91		
CHN011- PARDO	500140748	CH	MT-003	Inspecciones Termográficas en redes aéreas	15.51	15	232.65	03/12/2014	511.38
		CH	SED-003	Inspecciones Termográficas en SED's	30.97	9	278.73		
CHN011- PARDO	500140748	CH	MT-003	Inspecciones Termográficas en redes aéreas	15.51	18	279.18	04/12/2014	588.88
		CH	SED-003	Inspecciones Termográficas en SED's	30.97	10	309.70		
CHN011- PARDO	500140748	CH	MT-003	Inspecciones Termográficas en redes aéreas	15.51	6	93.06	05/12/2014	526.64
		CH	SED-003	Inspecciones Termográficas en SED's	30.97	14	433.58		
CHN011- PARDO	500140748	CH	MT-003	Inspecciones Termográficas en redes aéreas	15.51	21	325.71	09/12/2014	511.53
		CH	SED-003	Inspecciones Termográficas en SED's	30.97	6	185.82		
CHN011- PARDO	500140748	CH	MT-003	Inspecciones Termográficas en redes aéreas	15.51	12	186.12	10/12/2014	464.85
		CH	SED-003	Inspecciones Termográficas en SED's	30.97	9	278.73		
CHN011- PARDO	500140748	CH	MT-003	Inspecciones Termográficas en redes aéreas	15.51	25	387.75	11/12/2014	449.69
		CH	SED-003	Inspecciones Termográficas en SED's	30.97	2	61.94		

**TOTAL**

**3,316.49**

Fuente: Pacífico Sur S.A., 2015

Considerando las tablas N° 10 y 11, podemos realizar una evaluación económica, teniendo en cuenta una supervisión y mantenimiento correctivo, a diferencia de realizar estas actividades antes que ocurra algún tipo de problema por medio de la inspección termográfica; ocasionando interrupciones.

Siguiendo la Tabla 08, en el anexo 04, se presenta la cantidad de energía no vendida debido a las interrupciones ocasionados por las fallas y/o problemas en las diferentes instalaciones del sistema eléctrico de la unidad de negocios de Chimbote

#### **Costo de Energía no Vendida (año 2013)**

*Costo de Kwh.* = S/. 0.18. (considerando el costo conservativo comercial)

*Energía activa total no vendida* = 335508.8758 KWh.

Costo Total kWh = 335508.8758Kwh X S/. 0.18/kwh = **S/. 60392**

Costo del mantenimiento sin termografía = 2997\*12 = **S/. 35964**

#### **Costo de Energía no Vendida (año 2014)**

*Costo de Kwh.* = S/. 0.18. (considerando el costo conservativo comercial)

*Energía activa total no vendida* = 178442.6565 KWh.

Costo Total kWh = 178442.6565 Kwh X S/. 0.18/kwh = **S/. 32120**

Costo del mantenimiento con termografía = 3316.49\*6 = **S/. 19899**

Cabe mencionar que la frecuencia de medición con termografía para un punto es de aproximadamente 3 a 4 meses por radial, es por ello que para todo el sistema se toma en consideración cada 02 meses.

Tabla N°12. Resumen del costo beneficio

<b>Costos en soles</b>	<b>Mantenimiento Predictivo con termografía 2014</b>	<b>Mantenimiento correctivo 2013</b>
Costo del mantenimiento	19899	35964
Costo de Energía no vendida	32120	60392
Costo total	52019	96356
<b>Beneficio (Ahorro)</b>	<b>S/. 44337</b>	

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.4. Discusión:**

De la tabla N°12, se muestra los beneficios de utilizar un mantenimiento de las instalaciones eléctricas con termografía, el cual muestra un ahorro de S/. 44336.66; el cual es significativo, considerando solo la unidad de negocios y teniendo en cuenta la cantidad de energía que no se vende. Cabe mencionar que la cantidad de energía no vendida, también depende de otros factores como ampliación de líneas.

# CAPITULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. Conclusiones

- ✓ Se aplicó la termografía Infrarroja en tableros eléctricos de distribución en los cuales mejoraron la disponibilidad en un 100% para el radial CHN011 Pardo.
- ✓ Se analizaron los elementos eléctricos de operación en la actividad de mantenimiento y control de los tableros eléctricos, siendo las llaves térmicas el de mayor frecuencia (33%) por presentar elevada temperatura en sus bornes, falso contacto, corrosión.
- ✓ Se realizó el análisis termográfico de los tableros eléctricos en la radial en estudio CHN011 Pardo, evaluando 479 datos, identificándose 142 puntos calientes que representan el 30% de anomalías, de las cuales el 43% son críticas, como se muestran en las figuras 20 y 21.
- ✓ Se determinó la disponibilidad de equipos e instalaciones eléctricas en la zona en estudio y su evolución, el cual aumento de 92.18% a 92.64%.
- ✓ Hasta ahora no existe indicador de seguridad puesto que no se ha registrado ningún tipo de accidente desde la aplicación de termografía hasta la fecha.
- ✓ Se analizó y evaluó los beneficios económicos de utilizar una inspección termográfica; obteniéndose un ahorro S/. 44337, comparando los costos 2013 y 2014.

## 5.2. Recomendaciones

- ✓ La supervisión y control de las diferentes instalaciones eléctricas utilizando la inspección termográfica es muy importante para conocer claramente las características del sistema y el entorno de los equipos hacia los cuales iba dirigido. Esto permitió tener una visión más concreta de las actividades que se desarrollaron en las fases de implementación y ejecución del programa de inspección.
- ✓ El procedimiento del análisis termográfica que se emplearon para los tableros eléctricos pueden ser extendidas para llevar a cabo la inspección de otros dispositivos o sistemas eléctricos, como por ejemplo los alimentadores, líneas de transmisión, centrales de generación, los cuales involucran disipación de calor, y poder con ello aprovechar el cien por ciento del equipo termográfico.
- ✓ Para un sistema de medición más precisa, hay que tener en cuenta las condiciones climáticas, para evitar tomas imprecisas y no poder realizar el análisis adecuado.
- ✓ Ejecutar las acciones recomendadas en los informes termográficos con la finalidad de que la falla no se incremente, principalmente aquellos que son críticos.
- ✓ Se recomienda la creación de un área específicamente que trabaje y aplique la termografía con la finalidad de tener un monitoreo permanente de todo el sistema eléctrico de la unidad de negocios Chimbote.

# CAPITULO VI

## BIBLIOGRAFIA

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ABARCA SIGCHO D., 2012. Tesis de Grado: *Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo mediante la aplicación de termografía industrial en los motores eléctricos de la planta de Eurolit en la Empresa Tubasec C.A. Riobamba – Ecuador.*
2. BAUTISTA TONATO J., 2013. Tesis de Grado: *Desarrollo del mantenimiento predictivo mediante la técnica de la termografía para evaluar el correcto funcionamiento de la subestación oriente y alimentador totoras de la empresa eléctrica Ambato S.A. Riobamba – Ecuador.*
3. CHICO SAAVEDRA D., 2014. Programa de Tecnología Eléctrica: *Diagnóstico termográfico de la subestación de energía eléctrica del edificio 1, bloque B-Bb, Piso 0-P0 De La Universidad Tecnológica De Pereira.*
4. GONZÁLEZ CAMEJO J., 2010. Tesis de Grado: *“Estudio de mantenimiento en patios de subestaciones del sistema eléctrico del estado nueva esparta utilizando cámara thermacam p65”.* Universidad de Oriente. Barcelona.
5. GRAINGER J.J, STEVENSON W.D., *“Análisis de Sistemas de Potencia”*, McGraw-Hill, México, 1996
6. GRAINGER J. J., STEVENSON W. D., *“Manual de Ingeniería Eléctrica”* McGraw-Hill, México, 1996.

7. GUANOLUISA CÁRDENAS L., 2007. Tesis: *Estudio de la termografía infrarroja para predecir fallas en las subestaciones de la empresa eléctrica quito*. Quito.
8. OSORIO CRUZ O, 2000. *Importancia de la termografía infrarroja en el diagnóstico de transformadores de potencia. Técnica electromecánica central, S.A. de C.V. Av. Técnicos No. 250 Delegación Epigmenio González Querétaro, Qro.* 2000
9. NEITA DUARTE L., 2011. *Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo*. Universidad Pontificia Bolivariana.
10. ROBELLY SANCHEZ P., 2014. Trabajo de Titulación: “análisis termográfico de las instalaciones eléctricas en media tensión del campus de la universidad católica Santiago de Guayaquil.” Guayaquil, Ecuador.
11. SANTO DOMINGO A, 2003. Análisis de descargas parciales e inspección termográfica aplicada en celda Metal-Clad 34.5Kv. Analista Gestión Mantenimiento. Dirección Gestión Mantenimiento. ISA-Colombia.
12. SCRIBD, *Sistemas de Distribución Eléctrica* [en línea] [consulta: 12 octubre 2013] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/47269953/25/sistemas-de-distribucion.html>
13. SCRIBD, *Manual Operativo de Termovisión* [consulta: 12 Octubre 2013] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/51135162/Manual-Operativo-Termovision>.