



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**“MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN SUBESTACIONES Y
CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE LA RIAMA-PEMEX UTILIZANDO
TERMOGRAFÍA INFRARROJA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTA:
DAVID REYNALDO HERNÁNDEZ SERRANO

ASESOR:
Dr. en Ciencias en Ingeniería Eléctrica
GILBERTO GONZÁLEZ AVALOS

MORELIA, MICHOACÁN, FEBRERO 2014

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado una segunda oportunidad de vida, además de la fe que tuve en él para vencer las adversidades.

A mis padres Reynaldo y María de Jesús por ser mi ejemplo a seguir, por brindarme el apoyo incondicional de una familia y sobre todo por darme la mejor herencia: una profesión.

Gracias a mi hermana Selene Lizeth y Tía Rosalina, por sus recursos económicos y su apoyo emocional. A mis abuelos y familiares por su apoyo y su confianza en mí, de poder creer que sería el ingeniero de la familia.

A mi asesor el Dr. Gilberto Gonzales Avalos, por el apoyo a este presente trabajo, por tu ayuda y tiempo. Gracias por darme ánimos en la elaboración de esta tesis, diciendo que es una aportación grande para la facultad y gracias por tu amistad.

A mis sinodales por haberse tomado el tiempo que esta tesis les haya requerido. Y gracias también a todos los buenos maestros de la facultad que me formaron como ingeniero.

A los ingenieros: Alfredo Huerta, Víctor Quintero, Carlos Pérez, Antonio Ramos, Heriberto Luna, Carlos Manuel y Francisco Hernández, muchas gracias, sus conocimientos fueron trascendentes en mi formación.

A mi tío el Lic. Guillermo Hernández por tu apoyo incondicional en mi estadía en la refinería de la cual saque el tema y material para este trabajo.

Al taller eléctrico de la RIAMA en especial al departamento de Subestaciones y Circuitos eléctricos con el Ing. Carlos Contreras, Ing. Pinzón, al cabo Canin y los operarios especialistas Daniel Quijano, Luis Castro, Javier, Italo Guzmán, muchas gracias por sus conocimientos ya que fueron primordiales para reforzar mis conocimientos en la área de campo.

A Daniel Quijano, operario electricista por enseñarme la técnica de termometría de la cual saqué mi trabajo de tesis.

Por último gracias a la UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO y en especial a la Facultad de Ingeniería Eléctrica por ser como un segundo hogar por varios años y por darme la oportunidad de realizar mi sueño en una institución de la que siento tanto orgullo.

DEDICATORIA

Dedicado a mi hijo Maximiliano Hernández

Este trabajo de tesis te lo dedico con demasiado gusto, emoción y alegría a ti Max, por convertirme en mi motor el día en que llegaste a mi vida. Porque, contigo aprendí lo que es la responsabilidad, la felicidad y la emoción de ser papá, y que cada triunfo que consiga será también tuyo puesto que tú me motivas para seguir adelante.

CONTENIDO

Agradecimiento	ii
Dedicatoria	iii
Contenido.....	iv
Resumen.....	vii
Palabras Clave	vii
Abstract.....	viii
Keywords	viii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tablas	xi
Símbolos y Abreviaturas	xii
Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Importancia de la temperatura en subestaciones y circuitos eléctricos	2
1.3 Objetivo	2
1.4 Hipótesis	2
1.5 Justificación	2
1.6 Metodología.....	3
1.7 Contenido de la tesis	4
Capítulo 2 Antecedentes históricos en la medición de temperatura.....	6
2.1 Temperatura en la historia, antecedentes históricos.....	6
2.2 Temperatura	7
2.3 Ley cero de la termodinámica	8
2.4 Equilibrio térmico	8
2.5 Temperatura en el Sistema Internacional (SI).....	8
2.5.1 Escalas y Unidades de medición	8
2.5.2 Factores de conversión.....	10

2.6	Principios físicos fundamentales de la medición de temperatura	10
2.7	Instrumentos de medición de temperatura (termómetro).....	10
2.7.1	Definición.....	11
2.7.2	Clasificación, Tipos y Principio de operación	11
Capítulo 3 Medición utilizando termografía infrarroja		18
3.1	Termografía infrarroja	18
3.2	Energía térmica (calor)	18
3.3	Transferencia de energía.....	19
3.4	Métodos de transferencia de energía	19
3.4.1	Transferencia de energía por radiación.....	19
3.4.2	Transferencia de energía por conducción	19
3.4.3	Transferencia de energía por convección.....	20
3.5	Radiación térmica	20
3.6	Radiación infrarroja	21
3.7	Infrarrojo (IR).....	21
3.8	Espectro electromagnético.....	21
3.9	Emisividad.....	22
3.10	Cámara termográfica equipo FLIR.....	22
3.11	Aplicaciones de la termografía.....	24
3.12	Aplicaciones en instalaciones eléctricas.....	25
3.13	Factores que inciden en la medición de temperatura.....	27
Capítulo 4 Aplicación de termografía infrarroja para la medición de temperatura en las subestaciones eléctricas l1, 8h, 7h y registro eléctrico reh 6-7 de la RIAMA		28
4.1	Introducción.....	28
4.2	Descripción del procedimiento para la inspección termográfica.....	29
4.2.1	Actividades previas.....	29
4.2.2	Medición en tableros eléctricos	29
4.2.3	Medición en empalmes de energía	30

4.2.4	Interpretación de lecturas.....	31
4.2.5	Reporte de resultados.....	31
4.3	Subestaciones eléctricas	32
4.3.1	Clasificación	32
4.4	Subestaciones de la RIAMA	36
4.4.1	Elementos que constituyen una subestación compacta tipo intemperie	37
4.5	Instalaciones de la S.E. 1L	42
4.6	Instalaciones de la S.E. 8H.....	44
4.7	Instalaciones de la S.E. 7H.....	46
4.8	Instalaciones del registro eléctrico reh-6-7	48
4.9	Termogramas de los puntos críticos en S.E. 1L, S.E. 8H, S.E. 7H y REH-6-7	48
4.9.1	S.E. 1L	49
4.9.2	S.E. 8H.....	51
4.9.3	S.E. 7H.....	53
4.9.4	REH-6-7	55
4.10	Termogramas al finalizar el mantenimiento preventivo	56
4.10.1	S.E. 1L	56
4.10.2	S.E. 7H.....	58
4.10.3	S.E. 8H.....	60
4.10.4	REH-6-7	62
Capítulo 5	Conclusiones y recomendaciones	63
5.1	Conclusiones	63
5.2	Recomendaciones y trabajos futuros	63
Apéndice A.....		64
Bibliografía		67

RESUMEN

El presente proyecto de tesis representa el trabajo derivado de las prácticas profesionales el cual consiste, en un estudio Termográfico que consta de visualizar y medir la Temperatura en subestaciones y circuitos eléctricos de la Refinería Ing. “Antonio M. Amor” ubicada en la ciudad de Salamanca, Guanajuato. Para el desarrollo del proyecto se cuenta con una cámara termográfica para inspección y detección de puntos calientes causados por altos diferenciales de temperatura, con el fin de detectar oportunamente riesgos potenciales que pudieran originar futuras fallas eléctricas, además de conocer el estado del elemento en ese punto.

El desarrollo se basa en una técnica termográfica de monitoreo e inspección de los elementos que conformar las subestaciones y circuitos eléctricos como son; interruptores de potencia, puntos de conectividad, transformador de potencia, cuchillas seccionadoras, barras y cables.

PALABRAS CLAVE

Termografía, Temperatura, Subestaciones Eléctricas, Circuitos Eléctricos y Cámara Termografica.

ABSTRACT

This thesis Project is based on the experience gathered during a stay in the PEMEX refinery “Ing. Antonio M. Amor”, located in Salamanca, Guanajuato. During this stay a thermographic study was made in the electric circuits and plant substations, using a thermographic camera to the inspection and detection of hot spots caused by high temperature changes, this trying to prevent major electrical faults and damages, and to monitor the state of that element in that spot.

This thesis is based on the development of a monitoring thermo-graphic technique, to different substation components, like power switches, connectivity points, disconnectors, power transformers, bars and wires.

KEYWORDS

Thermography, Temperature, Electrical substations , Electrical Circuits
and Thermographic camera.

LISTA DE FIGURAS

2.1	Termómetro de vidrio o de líquidos	11
2.2	Termómetro con lámina bimetálica	12
2.3	Termómetro de gas.....	12
2.4	Termómetro de resistencia.....	13
2.5	Par térmico o termopar	13
2.6	Termómetro digital.....	14
2.7	Termistor	14
2.8	Pirómetro óptico	15
2.9	Pirómetro de radiación total.....	16
2.10	Pirómetro de infrarrojos.....	16
2.11	Pirómetro fotoeléctrico	17
3.1	Termograma	18
3.2	Espectro electromagnético	22
3.3	Cámara termográfica infrarroja.....	24
4.1	Refinería Ing. Antonio M. Amor “RIAMA”	28
4.2	Subestación elevadora	32
4.3	Subestación receptora (reductora) primaria.....	33
4.4	Subestación receptora (reductora) secundaria	33
4.5	Subestaciones unitarias (compactas) tipo intemperie.....	34
4.6	Subestaciones de distribución tipo intemperie	34
4.7	Subestación compacta tipo interior.....	35
4.8	Subestación tipo blindado	35
4.9	Principales componenetes de subestación compacta	36
4.10	Transformador de potencia.....	37
4.11	Barras	37
4.12	Interruptor de potencia.....	38
4.13	Acometida.....	38
4.14	Cuchillas desconectoras	39
4.15	Fusibles.....	39
4.16	TC's	40
4.17	TP's	40
4.18	Registro eléctrico.....	41
4.19	S.E. 1L	42
4.20	Interruptores principales	42

4.21	Interruptor parte frontal	43
4.22	Interruptor parte trasera	43
4.23	S.E 8H.....	44
4.24	Diagrama unifilar	44
4.25	Interruptor parte frontal	45
4.26	Interruptor parte trasera	45
4.27	S.E 7H.....	46
4.28	Diagrama unifilar	46
4.29	Interruptor parte frontal	47
4.30	Interruptor parte trasera	47
4.31	Registro eléctrico REH-6-7	48
4.32	Reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia de la S.E 1L... 50	
4.33	Reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia de la S.E 8H ..52	
4.34	Reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia de la S.E 7H ..54	
4.35	Reporte termográfico sintetizado de un empalme en REH-6-7	55
4.36	Reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia de la S.E 1L...57	
4.37	Reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia de la S.E 7H ..59	
4.38	Reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia de la S.E 8H ..61	
4.39	Destrucción del empalme	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1	Distancias mínimas para inspección	30
Tabla A.1	Tabla de emisividades	64

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

302-42627-PO-009 Procedimiento de monitoreo por temperatura en equipo eléctrico

AST Análisis de Seguridad en el Trabajo

KV Kilovolts

KVA Kilovolts-amperes

PEMEX Petroleos Mexicanos

REH Registro de Entrada de Hombre

RIAMA Refinería Ing “Antonio M. Amor “

SAP Sistema, Aplicaciones y Productos

S.E. Subestación Eléctrica

SI Sistema Internacional

SP-SASIPA-SI-02310 Procedimiento para la Autorización de trabajos en instalaciones industriales de la subdirección de producción de PEMEX refinación

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

La temperatura es una propiedad física que se presenta en todo equipo por naturaleza, y por ello en ocasiones es necesario conocer el grado de temperatura ya que ésta en gran magnitud representa uno de las principales problemas, que afectan el rendimiento productivo de los equipos eléctricos, mecánicos e industriales, trayendo como consecuencia la generación de fallas. Estas características dentro de la industria han sufrido una evolución importante empujada en gran parte por el desarrollo tecnológico de los equipos de control y medida.

La Termografía Infrarroja juega un rol cada vez más importante en las actividades de mantenimiento por monitoreo. Esta técnica de producir imágenes a partir de la radiación térmica invisible que emiten los objetos, es un medio que permite identificar, sin contacto alguno, la temperatura en puntos calientes en líneas de transmisión, líneas de distribución, transformadores, motores y subestaciones, que indican fallas inminentes y excesiva pérdida de energía en forma de calor, que usualmente son síntomas de fallas.

Este proyecto describe el uso de la técnica de la termografía para el monitoreo de subestaciones y circuitos eléctricos con la finalidad de detectar posibles puntos de fallas en los elementos, permitiendo la reducción de los tiempos de parada de plantas de producción de la RIAMA por equipos eléctricos.

La aplicación de este tipo de pruebas consta de aspectos muy importantes; no es una prueba destructiva, se puede aplicar en funcionamiento continuo de las subestaciones y circuitos eléctricos sin la necesidad de sacar de operación ningún equipo, el operador especialista no requiere de contacto físico con el equipo eléctrico.

Finalmente, se conocerá el estado físico inicial y final de los elementos de las subestaciones y circuitos eléctricos mediante los termogramas, una vez hechas las actividades de inspección y las actividades adecuadas para su corrección de ser necesario.

1.2 IMPORTANCIA DE LA TEMPERATURA EN SUBESTACIONES Y CIRCUITOS ELÉCTRICOS

Todos los objetos eléctricos, electrónicos o mecánicos sufren alteraciones en su temperatura debido principalmente a mal funcionamiento, falsos contactos, altas fricciones, rozamientos etc. Este incremento de temperatura no puede ser apreciado a simple vista por el ojo humano. Sin embargo, los equipos termográficos, pueden captarlo perfectamente.

Por esta razón surge la idea, en este caso, por la necesidad del Taller Eléctrico de la RIAMA, particularmente por el departamento de Subestaciones y Circuitos Eléctricos de contar con una herramienta para monitorear y capturar lecturas de temperatura que afecten la eficiencia y confiabilidad de las subestaciones y circuitos eléctricos.

1.3 OBJETIVO

El objetivo de esta tesis es medir la temperatura para detectar oportunamente riesgos potenciales que pudieran originar accidentes, destrucción y/o disturbios inesperados por altos diferenciales de temperatura en equipo eléctrico.

1.4 HIPÓTESIS

Conociendo el grado de temperatura o el diferencial de temperatura en los diferentes elementos de un equipo eléctrico, se puede conocer el estado en que se encuentra el elemento en ese punto. Posibles estados por alta resistencia:

- Conexión floja.
- Conexión con suciedad.
- Conexión con corrosión.
- Conexión con ajuste deteriorado.
- Componente incorrecto.
- Instalación incorrecta.

1.5 JUSTIFICACIÓN

La realización de esta tesis se basa principalmente en el hecho de que tiene una aplicación directa dentro de las necesidades actuales de la RIAMA, en este caso las subestaciones y circuitos eléctricos, ya que esta tecnología de punta como es la Cámara Termográfica que por sus visiones y mediciones de temperatura resulta ser una herramienta vital como mantenimiento predictivo que permitir determinar el

estado de funcionamiento del equipo eléctrico, de manera que sin necesidad de parar o desmontar, se puedan planificar acciones correctivas oportunas antes que las fallas ocurran. Y así garantizar la eficiencia y confiabilidad del equipo.

Existen algunos modelos comerciales de medidores de temperatura que son montables en los gabinetes de las subestaciones, pero son medidores que son instalados por cada circuito derivado para las subestaciones que pertenecen al bus y sólo se enfocan en puntos específicos. En cambio con la cámara termográfica, al operario especialista le permite hacer un barrido de campo para una inspección de temperatura más detallada e inspeccionar más de una subestación con tan sólo una herramienta. Además, en el caso de los registros eléctricos subterráneos por ser espacios confinados resulta ser una técnica muy práctica ya que el operario especialista puede obtener mediciones sin ingresar dentro del registro, ya que puede resultar peligroso estos contienen filtraciones de producto como lubricantes, etc.

Además esto resulta de gran interés económico el hecho de contar con una herramienta práctica que permita el monitoreo e inspección de temperatura en equipo eléctrico, que reduce el número de medidores de temperatura estáticos y tener costos menores de inversión de mantenimiento.

1.6 METODOLOGÍA

Pasos para realizar una Inspección Termográfica en equipo eléctrico.

1. Seleccionar e identificar la instalación a inspeccionar: Se debe tener un programa anual de inspecciones termográficas donde se incluye todo el sistema eléctrico y donde se establezca el número de inspecciones por instalación, de esta manera podrá programarse y planificarse el itinerario de inspección con antelación.
2. Movilización a sitio y acceso a la instalación: En este paso se debe tomar en cuenta aspectos de seguridad tales como, utilización de cascos de seguridad, cascos, guantes y botas dieléctricas.
3. Preparación y conexión del equipo: Se refiere a la puesta a punto del equipo, se deben verificar los valores de emisividad utilizados, temperatura reflejada y calibración del equipo.
4. Verificar que la instalación está en operación: El operario electricista antes de comenzar cualquier actividad dentro de la instalación debe preguntarse y sersoriarse que la unidad esta en operación ya que, este tipo de inspección sólo se puede realizar con la subestación en operación.

5. Realizar un barrido general de la instalación: Al comienzo de la inspección, se debe realizar un barrido por los diferentes componentes de la estación, haciendo énfasis en grapas de unión, seccionadores, salidas de transformadores y por último se debe tomar un termograma global de todo el conjunto de equipos que conforman la instalación, si se detecta algún punto caliente se realiza la medición de temperatura en la zona afectada, para determinar algún grado de sobrecalentamiento se deben realizar medidas comparativas con elementos de igual función, esto permitirá determinar el grado de sobrecalentamiento presente y permitirá fácilmente indicar cuál es la acción correctiva.

6. Tomar termograma y fotografía a color: El termograma es el que permitirá indicarle al operario la existencia de falla y su magnitud, la fotografía a color permitirá y facilitará la ubicación geográfica de la falla, esto ayudará al personal a detectar rápidamente el lugar donde ésta se encuentra con toda facilidad, eliminando tiempo perdido en la localización de fallas.

7. Emitir reporte: Se debe plasmar en un reporte todos los resultados obtenidos identificando claramente cuáles son los puntos con problemas y dando claramente la localización exacta, además de marcar en la fotografía a color con un círculo las zonas afectadas. En caso de tratarse de una reparación inmediata se deberá introducir recomendación con orden de prioridad esta acción al sistema de mantenimiento para realizar un seguimiento continuo a dicha acción y asegurar de esta manera su corrección.

8. Archivar: Esta información es útil para estudios estadísticos, análisis y comportamiento del índice de fallas por lo que se recomienda archivar copia de todos los reportes emitidos

1.7 CONTENIDO DE LA TESIS

El contenido de la presente tesis está estructurado de la siguiente manera:

Capítulo 1: “Introducción”. Se habla en general de que consiste este trabajo de tesis, donde se muestra la necesidad de implementar la termografía infrarroja, debido a los riesgos por alta temperatura.

Capítulo 2: “Antecedentes históricos en la medición de temperatura”. En este se muestra de lo más relevante de la temperatura a lo largo de la historia, también se tratan los conceptos básicos sobre la temperatura: qué es, cómo se manifiesta y con que se mide. Y finalmente la variedad de instrumentos de medición en cuanto a las distintas características.

Capítulo 3: “Medición utilizando termografía infrarroja”. En éste se tratan los conceptos básicos sobre la termografía infrarroja: qué es, cómo funciona y cómo se realiza las mediciones. Además se muestran de las características del instrumento de medición a utilizar.

Capítulo 4: “Aplicación de termografía infrarroja para la medición de temperatura en las subestaciones electricas l1, 8h, 7h y registro eléctrico reh 6-7 de la RIAMA”. En este se indica del procedimiento a seguir para la inspección termográfica. Los tipos de subestaciones que existen y las que están instaladas en la refinería con sus características y además el resultado obtenido de las mediciones de temperatura, en este caso los termogramas a elementos de las subestaciones antes y después de la acción correctiva.

Capítulo 5: “Conclusiones y recomendaciones”. En este último capítulo se reportan las conclusiones generales y recomendaciones para trabajos futuros.

CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS EN LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA

2.1 TEMPERATURA EN LA HISTORIA, ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La temperatura de los cuerpos es un concepto que el hombre primitivo (precientífico) captó a través de sus sentidos. Si tocamos dos piedras iguales, una a la sombra y otra calentada por el sol (o por el fuego de una hoguera) las encontramos diferentes. Tienen algo distinto que detecta nuestro tacto, la temperatura. La temperatura no depende de si la piedra se desplaza o de si está quieta y tampoco varía si se fragmenta. Las primeras valoraciones de la temperatura dadas a través del tacto son simples y poco matizadas. De una sustancia sólo podemos decir que está caliente, tibia (caliente como el cuerpo humano), templada (a la temperatura del ambiente), fría y muy fría.

Con el diseño de equipos llamados termómetros se pudieron establecer escalas para una valoración más precisa de la temperatura. El primer termómetro se atribuye a Galileo que diseñó uno en 1592 con un bulbo de vidrio del tamaño de un puño y abierto a la atmósfera a través de un tubo delgado.

A mediados del siglo XVII, Robert Boyle descubrió las dos primeras leyes que manejan el concepto de temperatura:

- 1) En los gases a temperatura constante, el producto de la presión a que se someten por el volumen que adquiere permanece constante.
- 2) La temperatura de ebullición disminuye con la presión.

Los termómetros tuvieron sus primeras aplicaciones prácticas en meteorología, agricultura y medicina. Antes de la aparición de los termómetros de mercurio se construyeron termómetros de alcohol como los de Amontons y Réaumur.

En 1717 Fahrenheit, un germano-holandés fabricante de instrumentos técnicos, construyó e introdujo el termómetro de mercurio con bulbo y tomó como puntos fijos:

- 1) El de congelación de una disolución saturada de sal común en agua.
- 2) La temperatura del cuerpo humano.

Dividió la distancia que recorría el mercurio en el capilar entre estos dos estados en 96 partes iguales.

Fahrenheit ajustó la escala para que el punto de congelación del agua (0°C en la escala Celsius) fuera de 32°F y la temperatura de ebullición del agua de 212°F . La escala Fahrenheit no tenía valores negativos (no se podían lograr en esa época temperaturas por debajo de cero grados) y era bastante precisa.

En 1740, Celsius, científico sueco de Upsala, propuso los puntos de fusión y ebullición del agua al nivel del mar ($P=1\text{ atm}$) como puntos fijos y una división de la escala en 100 partes (grados). Como en Suecia interesaba más medir el grado de frío que el calor le asigno el 100 al punto de fusión del hielo y el 0 al vapor de agua en la ebullición. Más tarde el botánico y explorador Linneo invirtió el orden.

Esta escala, que se llamó centígrada ha perdurado hasta época reciente y se proyectó en el sistema métrico decimal.

Un siglo más tarde, Kelvin abordó la cuestión desde un punto de vista totalmente diferente, y, en 1848, ideó una escala de temperatura absoluta, que era independiente de las propiedades de cualquier sustancia en particular y se basaba únicamente en las leyes fundamentales de la termodinámica. Partiendo de los principios de esa escala, situó su cero en -273.15°C .

2.2 TEMPERATURA

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente o frío. Por lo general, un objeto más "caliente" tendrá una temperatura mayor, y si fuere frío tendrá una temperatura menor. Físicamente, es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como "energía sensible", que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida que es mayor la energía sensible de un sistema, se observa que está más "caliente"; es decir, que su temperatura es mayor.

En el caso de un sólido, los movimientos en cuestión resultan ser las vibraciones de las partículas en sus sitios dentro del sólido. En el caso de un gas ideal monoatómico se trata de los movimientos traslacionales de sus partículas, para los gases multiatómicos los movimientos rotacional y vibracional deben tomarse en cuenta también.

Dicho lo anterior, se puede definir la temperatura como la cuantificación de la actividad molecular de la materia.

2.3 LEY CERO DE LA TERMODINÁMICA

La ley cero de la termodinámica establece que si un cuerpo A se encuentra a la misma temperatura que un cuerpo B y este tiene la misma temperatura que un tercer cuerpo C, entonces, el cuerpo A tendrá la misma temperatura que el cuerpo C. Por lo cual estaremos seguros de que tanto el cuerpo A, como el B y C, estarán los tres, en equilibrio térmico. Es decir: El cuerpo A, B y C, tendrán igual temperatura.

2.4 EQUILIBRIO TÉRMICO

Es el estado en el que se igualan las temperaturas de dos cuerpos que inicialmente tenían diferentes temperaturas. Al igualarse las temperaturas se suspende el flujo de calor, y el sistema formado por esos cuerpos llega a su equilibrio térmico.

2.5 TEMPERATURA EN EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI)

El SI define la temperatura como una de las siete unidades básicas o unidades físicas fundamentales, las cuales son descritas por una definición operacional y son independientes desde el punto de vista dimensional.

2.5.1 ESCALAS Y UNIDADES DE MEDICIÓN

Las escalas de medición de la temperatura se dividen fundamentalmente en dos tipos, las *relativas* y las *absolutas*. Los valores que puede adoptar la temperatura en cualquier escala de medición, no tienen un nivel máximo, sino un nivel mínimo: el cero absoluto. Mientras que las escalas absolutas se basan en el cero absoluto, las relativas tienen otras formas de definirse.

Relativas

Grado Celsius (°C). Para establecer una base de medida de la temperatura Anders Celsius utilizó en 1742, los puntos de fusión y ebullición del agua. Se considera que una mezcla de hielo y agua que se encuentra en equilibrio con aire saturado a 1 atm está en el punto de fusión. Una mezcla de agua y vapor de agua (sin aire) en equilibrio a 1 atm de presión se considera que está en el punto de ebullición. Celsius dividió el intervalo de temperatura que existe entre éstos dos puntos en 100 partes iguales a las que llamó grados centígrados °C. Sin embargo, en 1948 fueron renombrados grados Celsius en su honor; así mismo se comenzó a utilizar la letra mayúscula para denominarlos.

Grado Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). Toma divisiones entre el punto de congelación de una disolución de cloruro amónico (a la que le asigna valor cero) y la temperatura normal corporal humana (a la que le asigna valor 100). Es una unidad típicamente usada en los Estados Unidos; erróneamente, se asocia también a otros países anglosajones como el Reino Unido o Irlanda, que usan la escala Celsius.

Grado Réaumur ($^{\circ}\text{Ré}$, $^{\circ}\text{Re}$, $^{\circ}\text{R}$). Usado para procesos industriales específicos, como el del almíbar.

Grado Romer o Roemer. En desuso.

Grado Newton ($^{\circ}\text{N}$). En desuso.

Grado Leiden. Usado para calibrar indirectamente bajas temperaturas. En desuso.

Grado Delisle ($^{\circ}\text{D}$) En desuso.

Absolutas

Las escalas que asignan los valores de la temperatura en dos puntos diferentes se conocen como escalas a dos puntos. Sin embargo, en el estudio de la termodinámica es necesario tener una escala de medición que no dependa de las propiedades de las sustancias. Las escalas de éste tipo se conocen como escalas absolutas o escalas de temperatura termodinámicas.

Rankine (R) a la escala de temperatura que se define midiendo en grados Fahrenheit sobre el cero absoluto, por lo que carece de valores negativos. Esta escala fue propuesta por el físico e ingeniero escocés William Rankine en 1859. Esta escala tiene su punto de cero absoluto a $-459,67^{\circ}\text{F}$ y los intervalos de grado son idénticos al intervalo de grado Fahrenheit.

Sistema Internacional de Unidades (SI)

Kelvin (K): 1 kelvin se define como la fracción $1/273.16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua. A la temperatura 0 K se le llama cero absoluto (el cero absoluto en escala Celsius es -273.16°C). La temperatura normal triple del agua se logra por medio de una celda especial que es un cilindro de vidrio evacuado que contiene agua pura.

2.5.2 FACTORES DE CONVERSIÓN

Las siguientes formulas asocian con precisión las diferentes escalas de temperatura:

Conversión de Celsius a Fahrenheit.

$$T(^{\circ}F) = t(^{\circ}C) * 1.8 + 32$$

Conversión de Celsius a Kelvin.

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273.15$$

Conversión de Kelvin a Fahrenheit.

$$T(^{\circ}F) = 1.8 * (t(K) - 273.15) + 32$$

Conversión de Fahrenheit a Rankine.

$$T(R) = t(^{\circ}F) + 459.67$$

2.6 PRINCIPIOS FÍSICOS FUNDAMENTALES DE LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Los instrumentos de medición de temperatura utilizan diversos fenómenos que son incluidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

- Variación en volumen o estado de los cuerpos (sólido, líquido y gas)
- Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia)
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores)
- F.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares)
- Intensidad de radiación emitida por un cuerpo (pirómetros de radiación)

2.7 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA (TERMÓMETRO)

La termometría se encarga de la medición de la temperatura de cuerpos o sistemas. Para este fin, se utiliza el termómetro como instrumento de medición.

2.7.1 DEFINICIÓN

El termómetro es un instrumento que se basa en el cambio de alguna propiedad de la materia debido al efecto del calor; así se tiene el termómetro de mercurio y de alcohol, que se basan en la dilatación, los termopares que deben su funcionamiento al cambio de la conductividad térmica, los ópticos que detectan la variación de la intensidad del rayo emitido cuando se refleja en un cuerpo caliente.

2.7.2 CLASIFICACIÓN, TIPOS Y PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Se clasifican en dos grupos:

- *Termómetros de contacto*; son aquellos cuyo elemento sensor está en contacto íntimo o colocado dentro del mismo ambiente que el cuerpo cuya temperatura se quiere conocer, algunos ejemplos son:
 - Termómetro de vidrio o de líquidos: Hechos con vidrio sellado, muestra la temperatura por medio del nivel al que llega el mercurio o alcohol en una escala graduada. Estos líquidos se dilatan y contraen debido a los cambios de temperatura. Generalmente, la escala de medición que usa es Celsius, aunque también se puede expresar en grados Fahrenheit. Actualmente, estos termómetros contienen alcohol coloreado debido al peligro que significa el contacto con el mercurio. La Figura 2.1 muestra el termómetro de vidrio.



Figura 2.1 Termómetro de vidrio o de líquidos

- Termómetro con lámina bimetálica: Como su nombre indica, están compuestos por dos láminas de metálicas cuyos coeficientes de dilatación son diferentes. Cuando se produce un cambio de temperatura, una de las láminas se curva primero y este movimiento se traduce en una aguja que señala la temperatura. La Figura 2.2 muestra el termómetro con lámina bimetálica.



Figura 2.2 Termómetro con lámina bimetálica

- Termómetros de gas: Mide la temperatura por la variación del volumen o la presión de un gas. Posee un sistema de medición muy preciso, suelen ser utilizados para ajustar otros termómetros. La Figura muestra el termómetro de gas.



Figura 2.3 Termómetro de gas

- Termómetros de resistencia: Estos miden la temperatura a través de un alambre de platino que es unido a una resistencia eléctrica que cambia según la temperatura. Generalmente se usa para medir temperaturas exteriores, es muy preciso, aunque lento. La Figura 2.4 muestra el termómetro de resistencia.



Figura 2.4 Termómetro de resistencia

- Par térmico o termopar: Es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado punto caliente y el otro llamado punto referencia. La Figura 2.5 muestra el termopar.



Figura 2.5 Par térmico o termopar

- Termómetros digitales: Estos termómetros miden la temperatura por medio de un circuito electrónico. La información que captan es enviada a un microchip que la procesa y la muestra numéricamente en la pantalla digital. Son de fácil uso, rápidos, precisos y económicos. La Figura 2.6 muestra el termómetro digital.



Figura 2.6 Termómetro digital

- Termistor: Es un sensor resistivo de temperatura. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura. Algunos termómetros hacen uso de circuitos integrados que contienen un termistor. La Figura 2.7 muestra el termistor.



Figura 2.7 Termistor

➤ *Pirómetros o termómetros sin contacto*; estos miden la temperatura a partir de la radiación de calor emanada por los objetos. Estos termómetros permiten utilizarse si tener que tocar los objetos, lo que permite medirlos cuando están en movimiento o alejados, así como también cuando sus temperaturas son muy elevadas.

- **Pirómetro óptico:** Se fundamentan en la ley de Wien de distribución de la radiación térmica, según la cual, el color de la radiación varía con la temperatura. El color de la radiación de la superficie a medir se compara con el color emitido por un filamento que se ajusta con un reostato calibrado. Se utilizan para medir temperaturas elevadas, desde 700 °C hasta 3,200°C, a las cuales se irradia suficiente energía en el espectro visible para permitir la medición óptica. La Figura 2.8 muestra el pírometro óptico.



Figura 2.8 Pirómetro óptico

- **Pirómetro de radiación total:** Se fundamentan en la ley de Stefan-Boltzmann, según la cual, la intensidad de energía emitida por un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Se utilizan para medir temperaturas mayores de 550°C hasta un poco más de 1600°C. La Figura 2.9 muestra el pírometro de radiación total.



Figura 2.9 Pirómetro de radiación total

- Pirómetro de infrarrojos: Captan la radiación infrarroja, filtrada por una lente enfocando la radiación sobre un detector sensible a longitudes de onda infrarroja. El detector responde produciendo pequeñas señales eléctricas que cuando se amplifican, producen una imagen electrónica correspondiente a la localización e intensidad de la radiación infrarroja total que éste ve. Pueden medir desde temperaturas inferiores a 0°C hasta valores superiores a 2,000°C. La Figura 2.10 muestra el pírometro de infrarrojos.



Figura 2.10 Pirómetro de infrarrojos

- Pirómetro fotoeléctrico: se basan en el efecto fotoeléctrico, por el cual se liberan electrones de semiconductores cristalinos cuando incide sobre ellos la radiación térmica. tiene un rango de trabajo de 35 a 1200 °C. La Figura 2.11 muestra el pirómetro fotoeléctrico.



Figura 2.11 Pirómetro fotoeléctrico

CAPÍTULO 3 MEDICIÓN UTILIZANDO TERMOGRAFÍA INFRARROJA

3.1 TERMOGRAFÍA INFRARROJA

Es una técnica que permite medir temperaturas exactas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Todos los objetos tienen una información térmica, imperceptible a simple vista, pero que es posible captar mediante una cámara termográfica, que es como una cámara fotográfica que detecta el patrón térmico (en el espectro de la longitud de onda infrarroja) del cuerpo al que se apunta, se puede convertir la energía térmica radiada en información sobre temperatura, expresada en grados centígrados (°C) y Fahrenheit (°F).

La Figura 3.1 generada por la cámara se denomina termograma, imagen térmica o imagen radiométrica.



Figura 3.1 Termograma

3.2 ENERGÍA TÉRMICA (CALOR)

En la actualidad se conoce al calor como una forma de energía, ya que el calor satisface el potencial de trabajo o la capacidad de producir trabajo. Este puede ser generado por: reacciones químicas, reacciones nucleares, disipación electromagnética o disipación mecánica.

Calor es la interacción de energía entre un sistema y sus alrededores, a través de los límites de un sistema en que no hay transferencia de masa, como consecuencia de la diferencia de temperatura entre un sistema y sus alrededores. El calor se transfiere de mayor a menor temperatura, y esta transferencia de energía se realiza en función de la diferencia de temperatura entre el sistema y su entorno.

Para su parte la temperatura es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema, es decir, la temperatura es una propiedad que tienen los sistemas y que se pueden medir.

3.3 TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

Cuando se tienen dos sistemas a diferentes temperaturas y se encuentran en contacto se produce un intercambio de energía de un sistema a otro, es decir, el flujo de energía ocurre del sistema de mayor temperatura al de menor temperatura.

El proceso mediante el cual se produce este intercambio de calor se denomina "Transferencia de Calor". Este es un mecanismo mediante el cual se transfiere la energía a través de la frontera de un sistema debido a una diferencia de temperatura.

3.4 MÉTODOS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

La transferencia de energía puede producirse mediante tres mecanismos distintos: radiación, conducción y convección; aunque también existen casos donde se puede combinar las tres formas de transferencia de calor de una región a otra.

3.4.1 TRANSFERENCIA DE ENERGÍA POR RADIACIÓN

La transferencia de calor por radiación no requiere de ningún medio físico para transmitirse. El intercambio de energía radiante puede ocurrir entre dos superficies, entre una superficie y un gas, también esta transferencia de calor puede involucrar una interacción entre varias superficies y fluidos que participen en el proceso. La radiación es el único mecanismo de transferencia de calor que puede producirse en el vacío.

3.4.2 TRANSFERENCIA DE ENERGÍA POR CONDUCCIÓN

Es la transferencia de energía debida a la interacción entre las partículas del interior de un material. La transferencia de calor está directamente relacionada con los gradientes de temperatura. Dentro del cuerpo hay una transferencia de energía de la región de alta temperatura a la región de baja temperatura. Se observa que la energía es transferida por conducción y que la rapidez de la transferencia de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura.

3.4.3 TRANSFERENCIA DE ENERGÍA POR CONVECCIÓN

La convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo el aire con un ventilador o el agua con una bomba. Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio.

En la naturaleza, la mayor parte del calor ganado por la atmósfera por conducción y radiación cerca de la superficie, es transportado a otras capas o niveles de la atmósfera por convección.

3.5 RADIACIÓN TÉRMICA

La radiación emitida por un cuerpo a causa de su temperatura se llama radiación térmica. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética, siendo su intensidad dependiente de la temperatura y de la longitud de onda considerada. En lo que respecta a la transferencia de calor la radiación relevante es la comprendida en el rango de longitudes de onda de $0,1\mu\text{m}$ a $1000\mu\text{m}$, abarcando por tanto parte de la región ultravioleta, la visible y la infrarroja del espectro electromagnético.

La materia en un estado condensado (sólido o líquido) emite un espectro de radiación continuo. La frecuencia de onda emitida por radiación térmica es una densidad de probabilidad que depende solo de la temperatura.

Los cuerpos negros emiten radiación térmica con el mismo espectro correspondiente a su temperatura, independientemente de los detalles de su composición. Para el caso de un cuerpo negro, la función de densidad de probabilidad de la frecuencia de onda emitida está dada por la ley de radiación térmica de Planck, la ley de Wien da la frecuencia de radiación emitida más probable y la ley de Stefan-Boltzmann da el total de energía emitida por unidad de tiempo y superficie emisora, esta energía depende de la cuarta potencia de la temperatura absoluta.

A temperatura ambiente, vemos los cuerpos por la luz que reflejan, dado que por sí mismos no emiten luz. Si no se hace incidir luz sobre ellos, si no se los ilumina, no podemos verlos. A temperaturas más altas, vemos los cuerpos debido a la luz que emiten, pues en este caso son luminosos por sí mismos. Así, es posible determinar la temperatura de un cuerpo de acuerdo a su color, pues un cuerpo que es capaz de emitir luz se encuentra a altas temperaturas.

3.6 RADIACIÓN INFRARROJA

La radiación infrarroja, o radiación IR es un tipo de radiación electromagnética y térmica, de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas. Consecuentemente, tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas. Su rango de longitudes de onda va desde unos $0,78\mu\text{m}$ hasta los $1000\mu\text{m}$. La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 Kelvin , es decir, $-273,15$ grados Celsius (cero absoluto).

La materia, por su caracterización energética emite radiación. En general, la longitud de onda donde un cuerpo emite el máximo de radiación es inversamente proporcional a la temperatura de éste (Ley de Wien). De esta forma la mayoría de los objetos a temperaturas cotidianas tienen su máximo de emisión en el infrarrojo. La intensidad de la radiación infrarroja es función de la temperatura pero no sólo de ella, influyen también las características del material.

3.7 INFRARROJO (IR)

El nombre de infrarrojo significa por debajo del rojo pues su comienzo se encuentra adyacente al color rojo del espectro visible. Es la parte del espectro electromagnético que se extiende desde el extremo del rojo visible a aproximadamente $0.78\mu\text{m}$ hasta las $1000\mu\text{m}$.

Los infrarrojos se pueden categorizar en:

- Near infrared (infrarrojo cercano), $780\text{ nm} - 1,5\mu\text{m}$
- Middle infrared (infrarrojo medio), $1,5 - 5,6\mu\text{m}$
- Far infrared (infrarrojo lejano), $5,6\mu\text{m} - 1000\mu\text{m}$.

3.8 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. Se cree que el límite para la longitud de onda más pequeña posible es la longitud de Planck mientras que el límite máximo sería el tamaño del universo aunque formalmente el espectro electromagnético es infinito y continuo.

La siguiente Figura 3.2 muestra el espectro electromagnético y resalta la onda electromagnética de los rayos infrarrojos.

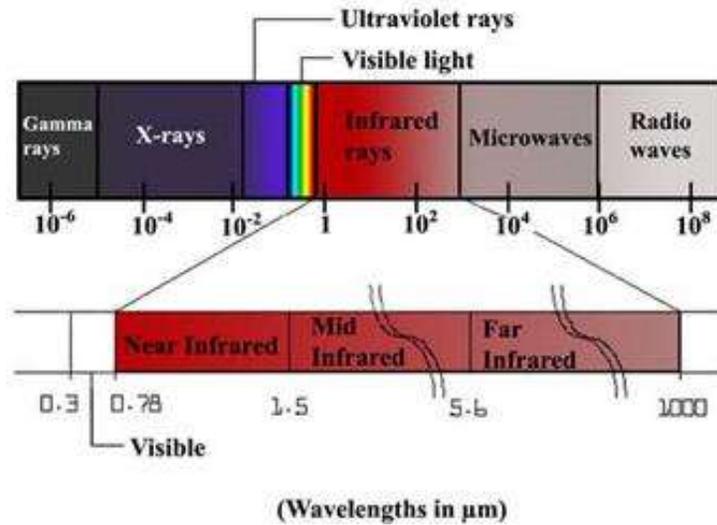


Figura 3.2 Espectro electromagnético

3.9 EMISIVIDAD

La capacidad que tienen los cuerpos de emitir eficientemente la radiación absorbida en ellos, se define como emisividad. La emisividad es una propiedad de la superficie de los cuerpos y parte del principio del cuerpo negro. Se establece que los cuerpos negros tienen un factor de emisividad igual a la unidad. Los cuerpos reales, en cambio, poseen un factor de emisividad inferior a la unidad, puesto que su eficiencia de emisión de radiación es menor a la ideal del cuerpo negro. La intensidad de esa energía emitida depende de la emisividad y la temperatura del objeto.

3.10 CÁMARA TERMOGRÁFICA EQUIPO FLIR

La cámara termográfica posee una matriz de sensores, que captan las señales infrarrojas que emite el objeto que se desea analizar, a cada una le asignan un color. La composición de todos los colores da como resultado una imagen, donde cada uno representa una zona con una imagen determinada y cada color representa un rango de temperatura expresada en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) o Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$).

La cámara de imágenes e infrarrojas son similares en sus lentes, típicamente hechos de germanio o cuarzo, enfocan la radiación sobre un detector sensible a longitudes de onda infrarroja. El detector responde produciendo pequeñas señales eléctricas que cuando se amplifican, producen una imagen electrónica correspondiente a la localización e intensidad de la radiación infrarroja total que éste ve.

La cámara termográfica da un termograma, una representación en una paleta de colores de las diferencias de radiación de los objetos. Como la radiación infrarroja es un parámetro directamente relacionado con la temperatura, una inspección termográfica permite observar las diferencias de temperatura de los materiales y puede ser usada en todas aquellas aplicaciones en las que detectar diferencias de temperatura nos pueda dar alguna información.

Características comunes:

Imágenes con alta resolución IR – 307.200píxeles (640x480).

Cámara digital - 5MP de resolución, provee imágenes con claridad independiente de las condiciones de iluminación.

Zoom – Hasta 8X (T640) con enfoque manual y automático.

Óptica articulable – Bloqueo óptico rota hasta 120° para mejor ángulo de visión.

Diferencial de temperatura (ΔT) – Permite obtener la diferencia de temperatura entre dos puntos.

Fusión térmica – Permite fusionar la imagen visual con la infrarroja.

Sobreposición de imagen (PiP) Escalable – Muestra la imagen térmica y la visual.

Alto rango de temperatura – Hasta 2000°C para aplicaciones eléctricas e industriales.

Alta precisión del 2% - Ofrece lecturas más confiables.

Batería recargable de ión de litio – Con duración de hasta 3 horas continuas; reemplazable en campo.

Marcador láser – Marca en la pantalla donde está apuntado el láser.

Corrección para ventana IR – Ajustes en la cámara le permiten compensar por pérdida de transmisividad al usar una ventana IR.

Comentarios de voz – Directamente a la imagen y puede ser integrado al reporte.

Reporte instantáneo – Crea un reporte (pdf) de la inspección directamente en la cámara.

La Figura 3.3 muestra la cámara termográfica infrarroja marca FLIR (T640) e identificación de sus componentes.



Figura 3.3 Cámara termográfica infrarroja

3.11 APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA

La medida de temperatura es fundamental en multitud de procesos. Algunos de los campos de aplicación son:

Predicción y prevención

- Eléctrico: Producción, distribución, transporte.
- Mecánico: Motores, Tuberías, etc.
- Edificios y estructuras: Aislamientos, Filtraciones, exfoliación.

Control de calidad

- Electrónica: Diseño, verificación, Diagnóstico, etc.
- Montajes mecánicos: Mal funcionamiento, fallos, análisis.

Control y procesos

- Industria del automóvil.
- Metalurgia.
- Industrias de plásticos.
- Petroquímicas.

Ensayos no destructivos

- Cavidades e inclusiones en sólidos.
- Delaminación.
- Detección de corrosión
- Mezclas y aleaciones.

Visión nocturna

- Seguridad.
- Búsqueda y rescate.

Veterinaria

- Fracturas.
- Lesiones musculares.

Investigación y desarrollo

- Estudio de flujos de calor.
- Estudios biológicos.
- Evaluación de nuevos productos.

Electromedicina

- Dermatología.
- Sistema circulatorio.

3.12 APLICACIONES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS

En los sistemas eléctricos una inspección infrarroja permite identificar los problemas causados por las relaciones corriente/resistencia, las fallas son causadas usualmente por conexiones sueltas o deterioradas, corto circuitos, sobrecargas, cargas desbalanceadas, componentes que se han instalado inapropiadamente o falla del componente en sí. A continuación se describen las causas más comunes de falla:

Alta Resistencia Eléctrica: Es la causa más común de exceso de temperatura en equipos eléctricos y líneas de potencia. De acuerdo con la ley de Ohm, la potencia disipada del elemento (y el calentamiento resultante) es igual al cuadrado de la corriente multiplicado por la resistencia ($P=I^2R$). Cuando la corriente de línea se mantiene constante y la resistencia es mayor que la nominal, se disipa una potencia adicional y ocurre un incremento anormal de temperatura, significando costos y peligro. Cuando se tiene un punto con alta resistencia, el calor generado se transfiere al conductor adyacente y al aire. Una imagen termográfica de este punto mostrará el área caliente

en la conexión y una disminución gradual de la temperatura a medida que aumenta la distancia desde la conexión.

Corto Circuito: Cuando ocurre un corto circuito en una línea de potencia, la duración es usualmente breve, con resultados inmediatos y desastrosos. Sin embargo, un corto circuito dentro de un componente de operación se puede detectar y diagnosticar usando la Termografía Infrarroja ya que la sección en corto causará excesivo flujo de corriente generando calentamiento.

Circuito Abierto: Un elemento operando en condiciones de temperatura inferior a la normal, puede ser una indicación de que el circuito se encuentra abierto. Este tipo de falla es común en capacitores de circuitos integrados, resistores, fuentes de suministro de potencia, etc.

Corrientes Inductivas: Las corrientes inductivas pueden causar excesivo calentamiento dentro del elemento o componente ferroso que está dentro del campo magnético de un equipo de gran capacidad como por ejemplo un generador principal.

Tierras Energizadas: Las tierras energizadas son un fenómeno común en las instalaciones de una planta. Cuando esto ocurre, usualmente se genera alta temperatura, por lo que no es difícil identificarla termográficamente.

Las siguientes clases de equipos deben incluirse dentro de un programa de monitoreo y mantenimiento basado en la condición:

Subestaciones Eléctricas: Transformadores de potencia y monitoreo, seccionadores, interruptores, trampas de onda, barrajes, aisladores, banco de baterías, tableros de control de los equipos, etc.

Líneas de Transmisión: Puntos de conexión entre los aisladores y la línea, conexiones de tierra de las estructuras, etc.

Redes de Distribución: Puntos de conexión entre los aisladores y la línea, conexiones de tierra de las estructuras, transformadores de potencia, cortacircuitos, pararrayos, empalmes primarios y secundarios (puentes), etc.

Plantas de Manufactura: Centro de control de motores, subestación eléctrica, motores eléctricos, etc.

Equipos de Comunicaciones: Centros de control, subestación eléctrica, etc.

3.13 FACTORES QUE INCIDEN EN LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Para efectuar el cálculo y despliegue de las temperaturas a través de una cámara de medición infrarroja, con imágenes emitidas por radiación infrarroja frente a un objeto, es requerida la función del factor de la radiación y de la temperatura de la superficie del objeto.

Sin embargo, la medición de la radiación por la cámara no sólo depende de la temperatura del objeto, también es una función de la emisividad. La radiación se origina del exterior y se refleja en el objeto. La radiación del objeto y la radiación reflejada serán influenciada por la absorción de la atmósfera, el hecho que la radiación es una función de temperatura de la superficie del objeto, hace posible que la cámara pueda calcular y exhibir esta temperatura.

Para tener una medición exacta de temperatura, es necesario compensar los efectos de un número de factores ambientales, que son diferentes de la radiación, los parámetros adicionales que se deben introducir a la cámara son:

- Emisividad del material del objeto a analizar
- Temperatura reflejada
- Distancia entre el objeto y la cámara
- Humedad relativa

Estos parámetros son calculados y medidos con equipos para cada uno, es importante ajustarlos en la cámara para poder realizar pruebas exactas.

Emisividad del material: Es el parámetro más importante al ajustar y hacer las tomas termográficas con el instrumento de prueba para no tener errores en la medición de los valores de temperatura que proporciona el instrumento.

Temperatura reflejada: Este parámetro se usa para compensar la radiación reflejada en el objeto y la radiación emitida de la atmósfera entre la cámara y el objeto. Si la emisividad es baja, la distancia debe ser larga y la temperatura del objeto relativamente cerca a la temperatura ambiente a lo que será importante compensar correctamente la temperatura ambiental.

Distancia entre el objeto y la cámara: Este parámetro se usa para compensar el factor de la radiación que está siendo absorbida entre el objeto y la cámara, y el factor de transmisión que disminuye con la distancia.

Humedad relativa: Este factor depende de la humedad relativa de la atmósfera. Al hacer esto se fija la humedad relativa para el valor correcto. Cuando se tiene el caso de cortas distancias entre el objeto y la cámara con humedad normal, la humedad relativa normalmente puede ser dejada a un valor pretendido al 50%.

CAPÍTULO 4 APLICACIÓN DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA PARA LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS L1, 8H, 7H Y REGISTRO ELÉCTRICO REH 6-7 DE LA RIAMA

4.1 INTRODUCCIÓN

El siguiente capítulo se presentan el procedimiento para la inspección termográfica y los termogramas tomados de los puntos calientes encontrados en las subestaciones y cables de potencia, que ocurrió con anterioridad y durante el desarrollo práctico de mis residencias en la RIAMA, además se muestran los termogramas una vez realizado el mantenimiento preventivo.

En la Figura 4.1 se muestra las instalaciones de la Refinería Ing. Antonio M. Amor.



Figura 4.1 Refinería Ing. Antonio M. Amor "RIAMA"

4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA

A continuación se presentan los pasos a seguir por el operario especialista, para poder realizar la inspección termográfica.

4.2.1 ACTIVIDADES PREVIAS

Debe contar con AST, orden de mantenimiento SAP y Permiso de Trabajo debidamente analizados y autorizados (de acuerdo con el punto 5.3.5 del procedimiento SP-SASIPA-SI-02310), reporte de monitoreo por temperatura 302-42627-PO-009-01 (anexo 2) y lista de verificación 302-42627-PO-009-02 (anexo 3).

Antes de iniciar el trabajo se deberá contar con:

- Equipo de protección personal y especial reglamentario.
- Instrumentos de medición de temperatura (cámara termográfica).
- Señalamientos para delimitar el área.
- Escalera de fibra de vidrio (Se debe contar con AST, orden de mantenimiento SAP y Permiso de Trabajo si es necesario ingresar al registro eléctrico).
- Herramienta manual necesaria para abrir las ventanas del gabinete.
- Tapete dieléctrico.
- Barra de armar para levantar tapa de los registros eléctricos.

Para efectuar las mediciones, estas deben hacerse a través de las ventanas apropiadas para tal efecto o en la parte más cercana posible a puntos de interconexión de los equipos. Si algún gabinete de interruptor o contactor no tiene ventana para la lectura no se tomará, y se elaborará reporte para que se proceda a su fabricación.

4.2.2 MEDICIÓN EN TABLEROS ELÉCTRICOS

Las lecturas se efectuarán a través de las ventanas y en la parte más cercana posible a los puntos de interconexión de los equipos respetando las normas de seguridad y las distancias mínimas anotadas en la tabla 4.1, los resultados serán anotados en el formato 302-42627-PO-009-01 del anexo 2. En cada tablero deben estar rotuladas las ventanas con el número correspondiente; dicho rótulo será fondo amarillo con letras y/o números negros.

Tabla 4. 1 Distancias mínimas para inspección

Al realizar las mediciones, respetar las siguientes distancias dieléctricas mínimas con respecto a las partes energizadas. Art. 102 Cap. XXII R.S.H.



VOLTS	DISTANCIAS MINIMAS EN CM.
2400	30
4160	60
6600	60
13800	90

Para una lectura correcta de temperatura es necesario ajustar la emisividad de la cámara termográfica en función del material a ser medido de acuerdo con la tabla A.1 del apéndice A de valores de emisividad para diferentes materiales

En la Refinería Ing. Antonio M. Amor el grado de emisividad se homologó a 0.90 ya que es el que corresponde a las superficies que tienen barniz dieléctrico como sucede con aquellas a las que se les realiza el monitoreo temperatura.

4.2.3 MEDICIÓN EN EMPALMES DE ENERGÍA

Las mediciones de temperatura con cámara termográfica en los empalmes pueden hacerse desde el exterior de los registros eléctricos cuando esto sea posible, pero en caso contrario deberá cumplirse con los requisitos del procedimiento crítico 300-40800-PSIA-049 de Trabajos en espacios confinados.

- Esta se realizará tan próxima a los empalmes como sea posible sin tocar el cable.
- Se efectuará un barrido (lectura de extremo a extremo a lo largo del empalme).
- Se recomienda medir la carga del circuito bajo prueba a manera de identificarlo plenamente.

4.2.4 INTERPRETACIÓN DE LECTURAS

Se considera punto caliente cuando la diferencial de temperatura es mayor de 5°C ó 41°F.

Cuando la diferencial de temperatura esté comprendida entre los 5°C (41°F) y 15°C (59°F), se dice que existe un punto caliente no crítico.

Se considera punto caliente crítico cuando la diferencial de temperatura es superior a 15°C ó 59°F.

Cuando la temperatura de una fase sea mayor de 5°C (41°F) con respecto a algún punto de las otras fases, se considera caliente el estado de la fase.

4.2.5 REPORTE DE RESULTADOS

- 1) El reporte de resultados se debe realizar en el formato 302-42627-RPO-009-01 del presente procedimiento.
- 2) El original del reporte de las mediciones se deberá archivar por el ingeniero responsable del programa de termometría.
- 3) La primer copia debe ser archivada por el operario ejecutor para su control (en el laboratorio eléctrico).

Cuando se localicen puntos calientes críticos se debe enviar a la jefatura de la Sección de Mantenimiento Eléctrico un informe sintetizado de las mediciones realizadas a los equipos (TERMOGRAMA).

De los equipos con puntos calientes críticos que se detecten por sector, el ing. responsable de la termometría deberá formular la orden de mantenimiento SAP y permiso de trabajo para su intervención inmediata, con su respectiva libranza (como lo marca el Procedimiento Crítico 300-40800-PSIA-053); además debe informar al ing. del sector donde se localice la anomalía.

De los equipos con puntos calientes no críticos quedan bajo responsabilidad del Ingeniero electricista del sector hacer barridos de termometría cuantas veces se considere necesario promoviendo ante el ingeniero de operación del sector la intervención oportuna al presentarse escalamiento de temperaturas de punto caliente crítico y/o equivalente, por lo anterior deberá formularse la orden de mantenimiento y el permiso de trabajo para su libranza.

4.3 SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

Una subestación eléctrica se puede definir como un conjunto de máquinas, aparatos y circuitos eléctricos que tienen la función de modificar los parámetros de potencia eléctrica (tensión y corriente) y sirven además de punto de interconexión para facilitar la transmisión y distribución de la energía eléctrica.

4.3.1 CLASIFICACIÓN

➤ De acuerdo a su función:

- Subestaciones elevadoras: Estas subestaciones se encuentran adyacentes a las centrales generadoras y permiten modificar los parámetros de potencia suministrada por los generadores, para permitir la transmisión de la energía eléctrica a través de las líneas de transmisión a tensiones más elevadas que la de generación, en la República Mexicana se genera entre 6 y 20KV y se transmite a 169KV, 138KV, 230KV y 400KV. La Figura 4.10 muestra una subestación elevadora.



Figura 4.2 Subestación elevadora

- Receptoras primarias (reductoras): Estas subestaciones se alimentan directamente de las líneas de transmisión y reduce la tensión a valores menores según sea el nivel de la transmisión ya sea para ser usadas en subtransmisión o en distribución según sea el caso, los niveles comunes de tensión de salida de estas subestaciones son de 35.5KV, 69KV, 85KV y

115KV. La Figura 4.3 muestra una subestación receptora (reductora) primaria.



Figura 4.3 Subestación receptora (reductora) primaria

- Receptoras secundarias (reductoras): Estas subestaciones se encuentran alimentadas normalmente por niveles de tensión intermedios (69KV y 115KV y en algunos caso 85KV) para alimentar a las llamadas redes de distribución de 6.6KV, 13.8KV, 23KVy 34.5KV. La Figura 4. muestra una subestación receptora (reductora) secundaria.



Figura 4.4 Subestación receptora (reductora) secundaria

➤ De acuerdo al tipo de instalación:

- Intemperie: Son aquellas que están construidas para operar a la intemperie y que requieren del uso de máquinas y aparatos adaptados para el funcionamiento en condiciones atmosféricas adversas (lluvia, nieve, viento

y contaminación ambiental) generalmente se usan para sistemas de media tensión que se conocen como subestaciones unitarias o compactas, y en una forma muy elemental en las redes de distribución aéreas. La Figura 4.5 muestra una subestación unitaria (compacta) tipo intemperie y la Figura 4.6 muestra una subestación de distribución tipo intemperie.



Figura 4.5 Subestaciones unitarias (compactas) tipo intemperie



Figura 4.6 Subestaciones de distribución tipo intemperie

- Interior: Las subestaciones que son instaladas en el interior de edificios no se encuentran por tanto sujetas a las condiciones de la intemperie, esta solución en la actualidad sólo encuentra aplicación en ciertos tipos de subestaciones que ocupan poco espacio y se conocen como subestaciones compactas, que operan con potencias relativamente bajas y se emplean en el interior de industrias. La Figura 4.7 muestra una subestación compacta tipo interior.



Figura 4.7 Subestación compacta tipo interior

- **Blindado:** En este tipo de subestaciones los aparatos y las máquinas se encuentran completamente blindados y el espacio que ocupan, a igualdad de potencia y tensiones; es muy reducido en comparación con otros tipos de subestaciones. Generalmete se utilizan en fabricas, hospitales auditorios edificios y centros comerciales que requieren de poco espacio para su instalación. La Figura 4.8 muestra subestación tipo blindado.



Figura 4.8 Subestación tipo blindado

4.4 SUBESTACIONES DE LA RIAMA

En la refinera se cuentan con tres tipos de subestaciones; una subestación receptora primaria (reductora) conocida como la BAHÍA, que es la ácometida y enlace con la central termoeléctrica de CFE, y el resto de las dos son subestaciones compactas de tipo interior e intemperie, que son las que se utilizan para de la red de distribución de media tensión dentro de las instalaciones de la refinera.

Dado que los termogramas tomados corresponden a subestaciones compactas del tipo intemperie, se mostraran los componentes y elementos básicos que conforman dichas subestaciones.

A estas subestaciones también se les conoce como subestaciones unitarias y son muy usadas en instalaciones industriales de PEMEX, reciben la energía en este caso de subestaciones primarias reductoras, para ser distribuida a distintos puntos en las instalaciones (plantas de producción). Generalmente están cerradas completamente por medio de placas metálicas barnizadas, de manera que no tiene partes vivas o energizadas expuestas al contacto de personas.

Las subestaciones unitarias estan constituidas, por módulos o unidades , que tienen básicamente tres componentes como se muestra en la Figura 4.9.

- Unidad de alta tensión
- Unidad del transformador
- Unidad de baja tensión

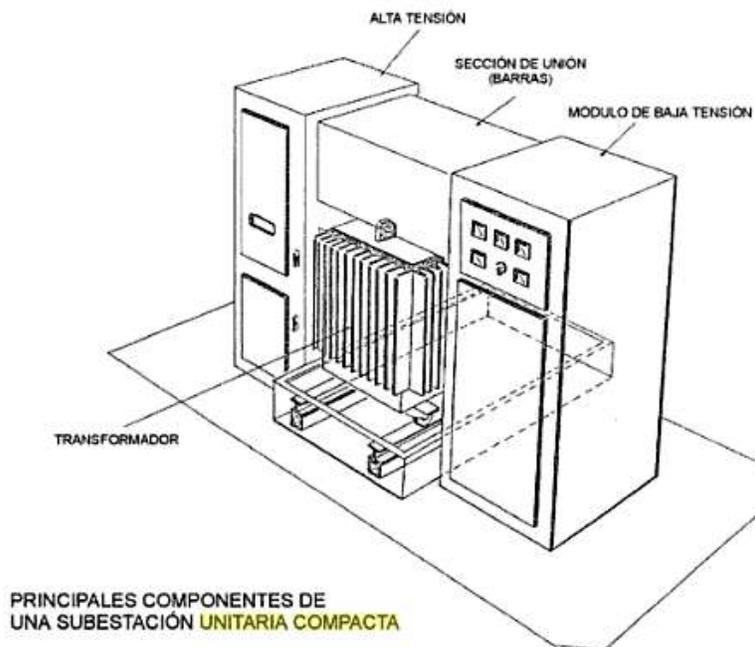


Figura 4.9 Principales componentes de subestación compacta

4.4.1 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UNA SUBESTACIÓN COMPACTA TIPO INTEMPERIE

Elementos principales:

- Transformador de potencia: Es la parte primordial de una subestación de potencia, es el equipo encargado de transferir energía eléctrica de un circuito a otro, en la mayoría de los casos con niveles de tensión diferentes, su potencia nominal es superior a 500 kVA. La Figura 4.10 muestra el transformador de potencia.



Figura 4.10 Transformador de potencia

- Barras o tubos conductores: Se define como bus a una barra que sirve de medio de transmisión de la tensión ya sea en una subestación o en un tablero, soportado por aisladores y estas pueden ser de cobre o aluminio. La Figura 4.11 muestra el sistema de barras.



Figura 4.11 Barras

- Interruptor de potencia: Genéricamente, un interruptor es un dispositivo cuya función es interrumpir y restablecer la continuidad de un circuito eléctrico. La interrupción la deben efectuar con carga o con corriente de corto circuito. La Figura 4.12 muestra el interruptor de potencia.



Figura 4.12 Interruptor de potencia

- Acometida: Es la parte de la instalación de enlace que une la red de distribución de la subestación eléctrica con la caja general de protección de otra. Las acometidas suelen ser subterráneas debido a que se trata de una industria que esta catalogada como zona de alto riesgo. La Figura 4.10 muestra la acometida al sistema.

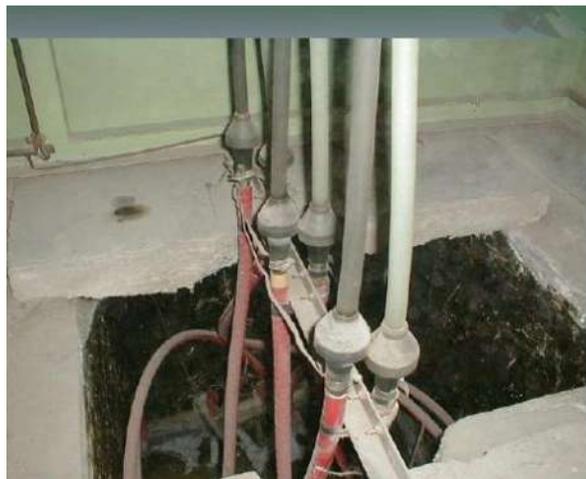


Figura 4.13 Acometida

- Cuchillas desconectoras: Son interruptores de una subestación o circuitos eléctricos que protegen a una subestación de cargas eléctricas demasiado elevadas. La Figura 4.14 muestra las cuchillas desconectoras.

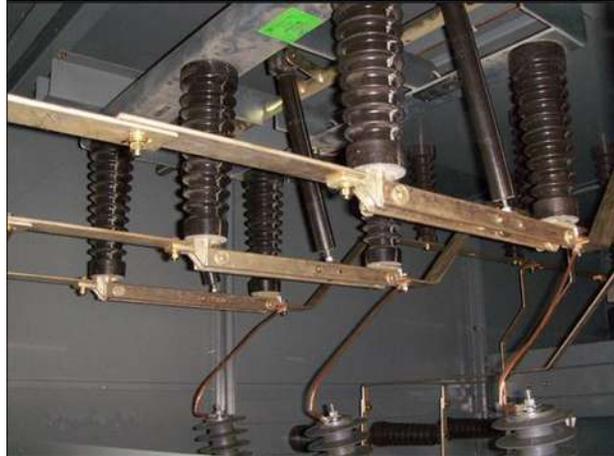


Figura 4.14 Cuchillas desconectoras

- Fusibles: Su funcionamiento es interrumpir la corriente del circuito que protege cuando se verifican condiciones anormales de funcionamiento que están normalmente asociados con las sobrecorrientes; esta interrupción se obtiene de la fusión del elemento fusible. La Figura 4.15 muestra los fusibles.



Figura 4.15 Fusibles

- Transformadores de corriente (TC's): Instrumento de medición cuya función es reducir a valores normales y no peligrosos, las características de corriente de un sistema eléctrico, con el fin de indicar la corriente de suministro y alimentar a los relevadores para protección. La Figura 4.16 muestra los TC's.



Figura 4.16 TC's

- Transformadores de potencial (TP's): Instrumento de medición cuya función es reducir los valores de voltaje del sistema eléctrico a valores suficientemente bajos, para tener indicaciones de los voltajes del sistema y alimentación a relevadores de protección. La Figura 4.17 muestra los TP's.



Figura 4.17 TP's

- Registros eléctrico: Son cubículos o fosas por donde llegan los cables de potencia, estos deben tener desagües para evitar que se inunden, su función consiste en permitir el manejo de los cables alimentadores transportadores de la energía eléctrica. La Figura 4.18 muestra un registro eléctrico.



Figura 4.18 Registro eléctrico

4.5 INSTALACIONES DE LA S.E. 1L

La instalación de la S.E. 1L (Figura 4.2), cuenta con un módulo de alta tensión de 13.8KV, unidad del transformador de 1000 KVA con conexión delta-estrella y módulo de baja tensión de 0.48KV que alimenta al cuarto de control de motores (CCM).



Figura 4.19 S.E. 1L

La subestación esta alimentada por dos alimentadores principales, lo que es el Bus norte y Bus sur de la subestación 20H, por lo que cuenta con dos interruptores principales que se observan en la figura 4.20.



Figura 4.20 Interruptores principales

Lo que se aprecia en la Figura 4.21 es la parte frontal del interruptor sur en el que, tuvo presencia de un punto crítico en las barras, las cuales tienen llegada por la parte trasera al interruptor y que se pueden observar en la figura 4.22.



Figura 4.21 Interruptor parte frontal



Figura 4.22 Interruptor parte trasera

4.6 INSTALACIONES DE LA S.E. 8H

La instalación de la S.E. 8H (Figura 4.23), cuenta con un módulo de alta tensión de 13.8KV, unidad del transformador de 1000 KVA y módulo de baja tensión de 0.48KV. Bus de 0.48KV que alimenta tableros y otras cargas trifásicas. Además cuenta con una protección termomagnética de 1200 amperes que protege al transformador de potencia del lado de baja tensión.



Figura 4.23 S.E 8H

El diagrama unifilar de la Figura 4.24 es la representación gráfica de la subestación, donde se observa que esta alimentada por dos alimentadores principales, lo que es el Bus norte y Bus sur pertenecientes a la subestación 30H, por lo que cuenta con dos interruptores principales.

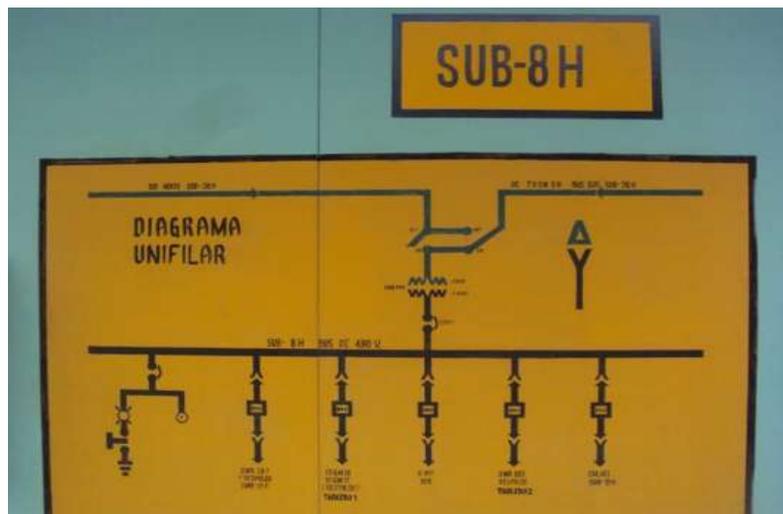


Figura 4.24 Diagrama unifilar

Lo que se aprecia en la Figura 4.25 es la parte frontal del interruptor sur en el que, tuvo presencia de un punto crítico en el punto de de conexión entre las terminales del interruptor y las barras, las cuales tienen llegada por la parte trasera al interruptor y que se pueden observar en la Figura 4.22.



Figura 4.25 Interruptor parte frontal



Figura 4.26 Interruptor parte trasera

4.7 INSTALACIONES DE LA S.E. 7H

La instalación de la S.E. 7H (Figura 4.2), cuenta con un módulo de alta tensión de 13.8KV, unidad del transformador de 1000 KVA y módulo de baja tensión de 0.48KV, Bus de 0.48 kv que alimenta motores trifásicos y que es enlace con la S.E. 9H, además cuenta con una protección termomagnética de 1200 Amperes que protege al transformador de potencia del lado de baja tensión.



Figura 4.27 S.E 7H

El diagrama unifilar de la Figura 4.28 es la representación gráfica de la subestación, donde se observa que está alimentada por dos alimentadores principales, lo que es el Bus norte y Bus sur pertenecientes a la subestación 30H, Además se observa que en el bus de 0.48KV, los interruptores de las distintas cargas y que por consiguiente se encuentran instalados en el gabinete de la subestación.

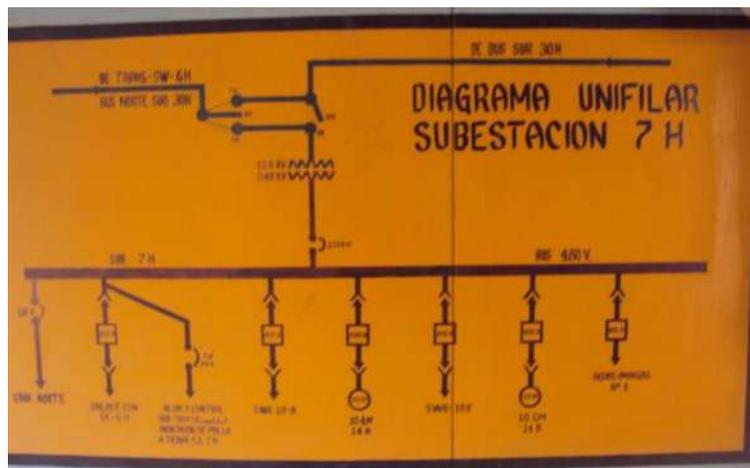


Figura 4.28 Diagrama unifilar

Lo que se aprecia en la Figura 4.29 es la parte frontal del interruptor que alimenta el cuarto de bombeo de la planta de aguas amargas (Aguas con contenido de ácido sulfhídrico (H_2S)), en el que, se tuvo presencia de un punto crítico en el punto de conexión entre las terminales del interruptor y los cables, las cuales tienen llegada por la parte trasera al interruptor y que se pueden observar en la Figura 4.30.



Figura 4.29 Interruptor parte frontal



Figura 4.30 Interruptor parte trasera

4.8 INSTALACIONES DEL REGISTRO ELÉCTRICO REH-6-7

El siguiente registro eléctrico subterráneo pertenece a un circuito (trifásico delta) primario que interconecta las subestaciones 6 y 7, con cables de media tensión para voltaje de 15KV, pero en el caso de estos cables se utilizan para un voltaje de 13.8KV. Los cables son de aislamiento PVC de color rojo, que se utiliza para instalaciones en media tensión subterráneas en bancos de ductos donde existe presencia de hidrocarburos. La Figura 4.31 muestra el registro eléctrico REH-7-6.



Figura 4.31 Registro eléctrico REH-6-7

4.9 TERMOGRAMAS DE LOS PUNTOS CRÍTICOS EN S.E. 1L, S.E. 8H, S.E. 7H Y REH-6-7

A continuación se presentan los reportes termográficos de los puntos calientes encontrados en los elementos de distintas subestaciones eléctricas, los reportes contienen; la imagen digital y radiométrica del elemento que se está inspeccionando, las medidas de temperatura de cada una de las fases y la diferencia de temperatura entre cada una de ellas, los parámetros a tomar en cuenta como la emisividad del material y la temperatura reflejada y por último el nombre del procedimiento e incisos a aplicar para, posteriormente realizar el mantenimiento preventivo y corregir el problema.

4.9.1 S.E. 1L

La Figura 4.32 es un reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia (parte trasera) de la S.E. 1L, donde se observa en la fusión térmica (imagen digital y radiométrica) que en las barras de alimentación se encontró un punto crítico en la fase 1 y fase 3 respecto a la fase 2 ya que, la diferencial de temperatura (ΔT) entre fases es de 27.6°C.

El termograma fue tomado a una distancia de 90cm aproximadamente y con un ajustede de los parámetros de emisividad y temperatura reflejada; la emisividad de 0.9 por que, se trata de una barra de cobre (Cu) cubierta con barniz y la temperatura reflejada de 20°C por que, es la temperatura del medio ambiente.

Se observa en la parte derecha del reporte las medidas de temperaturas por cada una de las fases donde, Sp1 se refiere a la fase 1, Sp2 a la fase 2, Sp3 a la fase 3 y el delta de temperatura entre la fase 1 y fase 2, además de los parámetros ajustados previamente de emisividad y temperatura reflejada. Posteriormente se encuentra un comentario donde se menciona el procedimiento y los incisos a realizar debido a que se trata de un punto crítico y que básicamente es su intervención inmediata.



S.E. 1L
INT. PPAL MCC-32 A SUR

Medidas		°C
Sp1	76.1	
Sp2	48.5	
Sp3	76.1	
Diferencia	27.6	
Sp1 - Sp2		
Diferencia	27.6	
Sp3 - Sp2		
Diferencia	0.0	
Sp1 - Sp3		
Parámetros		
Emisividad	0.9	
Temp. refl.	20 °C	
Geolocalización		
Brújula	S	

SP1= FASE 1
SP2= FASE 2
SP3= FASE 3
DELTA= 27.6°APLICAR
PROCEDIMIENTO
302-42827-PO-009 INCISO 5.7
5.7.4 Y 5.7.5



Figura 4.32 Reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia de la S.E 1L

4.9.2 S.E. 8H

La Figura 4.33 es un reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia (parte trasera) de la S.E. 8H, donde se observa la imagen radiométrica que en los puntos de conexión entre en las barras y el interruptor en la parte superior se encontró un punto crítico en la fase 2 y fase 3 ya que, la diferencial de temperatura entre fases con respecto a la fase 2 es de 44°C y 30 °C, además de que ya se detectó el punto caliente, se observa que al encerrar en una área (Ar1) la fase 3 se puede conocer en específico que es lo que está ocasionando el punto caliente, que en este caso es el tornillo ya que la temperatura máxima (triángulo rojo) apunta hacia el tornillo.

El termograma fue tomado a una distancia de 90cm aproximadamente y con un ajuste de los parámetros de emisividad y temperatura reflejada; la emisividad de 0.9 por que, se trata de una barra de cobre (Cu) cubierta con barniz y la temperatura reflejada de 20°C por que, es la temperatura del medio ambiente.

Se observa en la parte derecha del reporte la medida de temperatura Ar1 que pertenece a la fase 3, que es el área encerrada donde muestra la temperatura máxima, mínima y el promedio. Además de los parámetros ajustados previamente de emisividad y temperatura reflejada. Posteriormente se encuentra un comentario donde se menciona el procedimiento y los incisos a realizar debido a que se trata de un punto crítico y que básicamente es su intervención inmediata.

ALIMENTACIÓN GENERAL SE-8 H PARTE SUPERIOR



Figura 4.33 Reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia de la S.E 8H

4.9.3 S.E. 7H

La Figura 4.34 es un reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia (parte trasera) de la S.E. 1L, donde se observa en la fusión térmica (imagen digital y radiométrica) que en los puntos de conexión entre los cables de potencia y el interruptor en la parte superior se encontró un punto crítico en la fase 1, ya que la diferencial de temperatura (ΔT) entre fases con respecto a la fase 2 y fase 3 es de 22.4°C y 20°C.

El termograma fue tomado a una distancia de 90cm aproximadamente y con un ajuste de los parámetros de emisividad y temperatura reflejada; la emisividad de 0.9 por que, se trata de una barra de cobre (Cu) cubierta con barniz y la temperatura reflejada de 20°C, por que es la temperatura del medio ambiente.

Se observa en la parte derecha del reporte las medidas de temperaturas por cada una de las fases donde, Sp1 se refiere a la fase 1, Sp2 a la fase 2, Sp3 a la fase 3 y el delta de temperatura entre la fase 1 y fase 2, Además de los parámetros ajustados previamente de emisividad y temperatura reflejada. Posteriormente se encuentra un comentario donde se menciona el procedimiento y los incisos a realizar debido a que se trata de un punto crítico y que básicamente es su intervención inmediata.

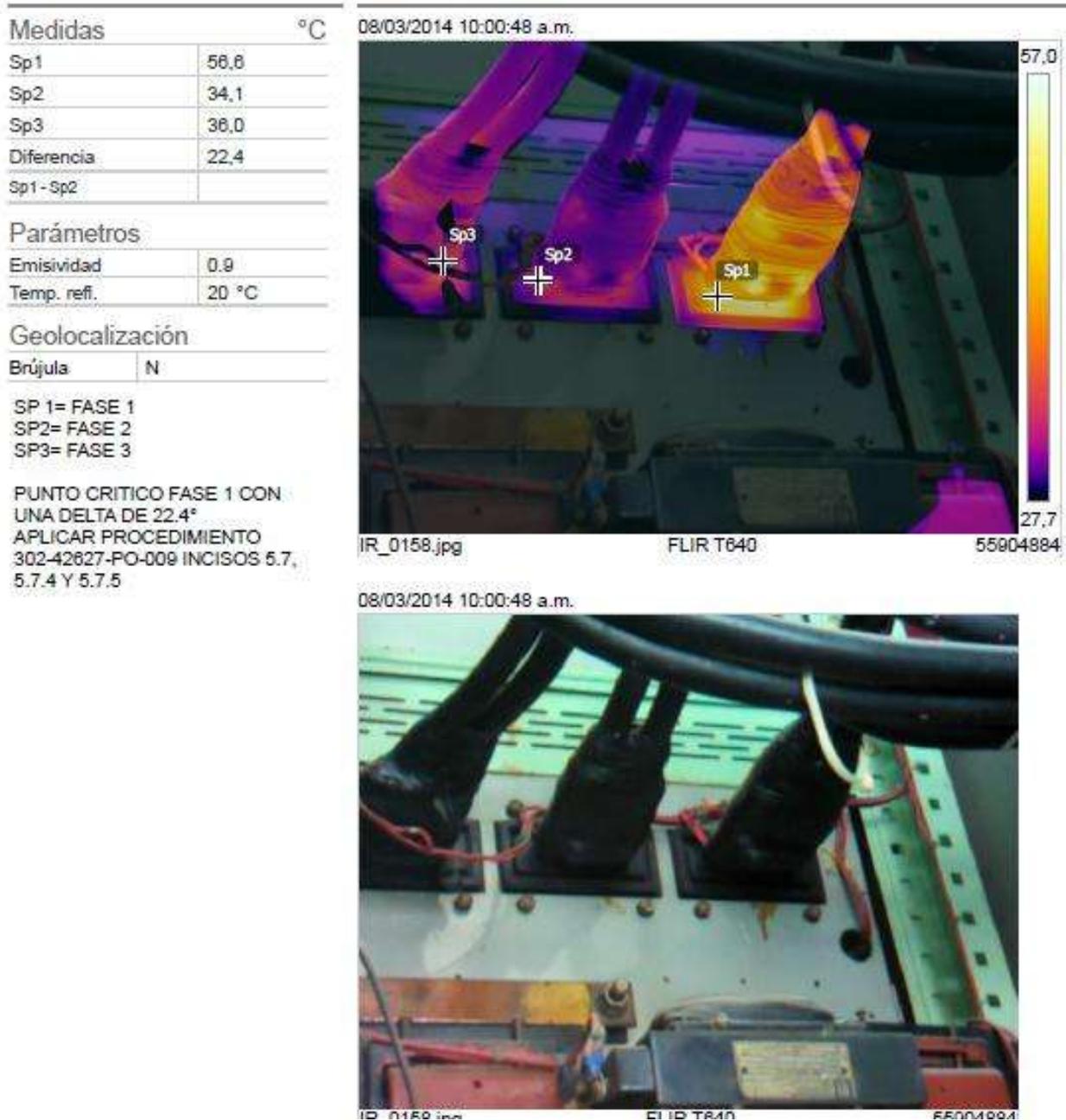


Figura 4.34 Reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia de la S.E 7H

4.9.4 REH-6-7

La Figura 4.35 es un reporte termográfico sintetizado de un empalme de cables de energía de media tensión, donde se observa claramente que en en el empalme de una de las fases se encontró un punto crítico con un diferencial de temperatura (ΔT) de 31.7°C con respecto a otra fase sana.

El termograma fue tomado a una distancia de 120cm aproximadamente y con un ajustede de los parámetros de emisividad y temperatura reflejada; la emisividad de 0.9 por que se trata de una superficie plástica por las cintas de aislar del empalme, y la temperatura reflejada de 0°C por que, se estima que no se refleja el calor radiante del sol por ser un sótano.



Figura 4.35 Reporte termográfico sintetizado de un empalme en REH-6-7

4.10 TERMOGRAMAS AL FINALIZAR EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

A continuación se presentan los reportes termográficos de los puntos calientes ya corregidos en los elementos de distintas subestaciones eléctricas, los reportes contienen; la imagen digital y radiométrica del elemento que se está inspeccionando, las medidas de temperatura de cada una de las fases y la diferencia de temperatura entre cada una de ellas, los parámetros a tomar en cuenta como la emisividad del material y la temperatura reflejada.

4.10.1 S.E. 1L

La Figura 4.36 es un reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia (parte trasera) de la S.E. 1L, donde se observa en la imagen radiométrica, las barras de alimentación no presentan presencia de punto crítico en ninguna de las fases ya que, la diferencial de temperatura (ΔT) entre fases es de 3.2, 4.6 y 1.4°C. Mientras que en la imagen digital se observa el cambio de tornillos nuevos ya que, los anteriores eran los causantes de la presencia de puntos críticos.

El termograma fue tomado a una distancia de 90cm aproximadamente y con un ajustede de los parámetros de emisividad y temperatura reflejada; la emisividad de 0.9 por que, se trata de una barra de cobre (Cu) cubierta con barniz y la temperatura reflejada de 20°C por que, es la temperatura del medio ambiente.

Se observa en la parte derecha del reporte las medidas de temperaturas por cada una de las fases donde, Sp1 se refiere a la fase 1, Sp2 a la fase 2, Sp3 a la fase 3 y el delta de temperatura entre cada una de las fases, Además de los parámetros ajustados previamente de emisividad y temperatura reflejada.



S.E. 1L
INT. PPAL MCC-32 A SUR

Medidas		°C
Sp1	43,0	
Sp2	41,6	
Sp3	38,4	
Diferencia	3,2	
Sp2 - Sp3		
Diferencia	4,6	
Sp1 - Sp3		
Diferencia	1,4	
Sp1 - Sp2		

Parámetros	
Emisividad	0,9
Temp. refl.	20 °C

Geolocalización	
Brújula	S

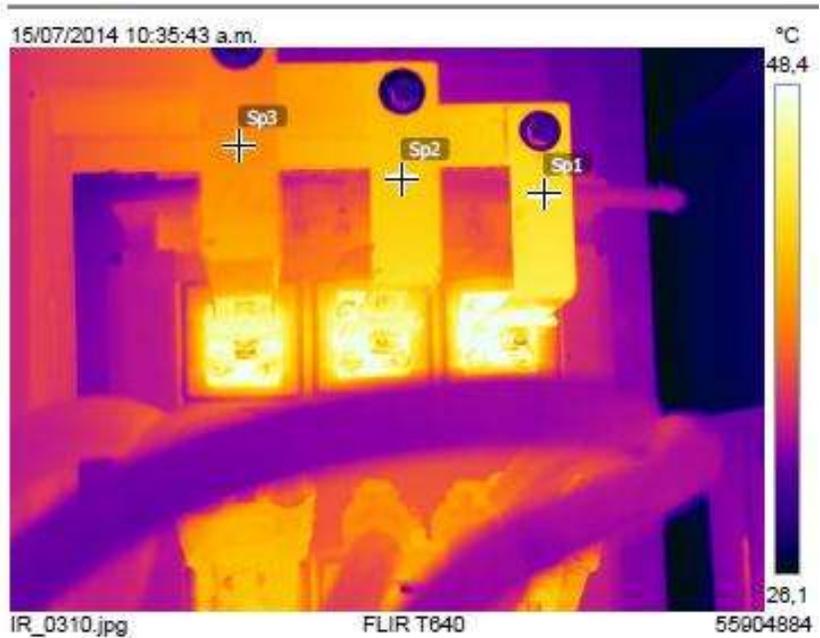


Figura 4.36 Reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia de la S.E 1L

4.10.2 S.E. 7H

La Figura 4.37 es un reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia (parte trasera) de la S.E. 7H, donde se observa en la imagen radiométrica que en puntos de conexión entre los cables de potencia y el interruptor en la parte superior no se encontró presencia de puntos críticos en ninguna de las fases ya que, la diferencial de temperatura (ΔT) entre fases es de 3.9, 2.5 y 6.4°C, más sin embargo, si se encontró la presencia de un punto no crítico en la fase 3 respecto a la fase 2. Mientras que en la imagen digital se observa que después del reapriete de los tornillos ya no se tiene presencia de altos diferenciales de temperatura, por tanto no hay presencia de puntos calientes.

El termograma fue tomado a una distancia de 90cm aproximadamente y con un ajuste de los parámetros de emisividad y temperatura reflejada; la emisividad de 0.9 por que, se trata de una barra de cobre (Cu) cubierta con barniz y la temperatura reflejada de 20°C por que, es la temperatura del medio ambiente.

Se observa en la parte derecha del reporte las medidas de temperaturas por cada una de las fases donde, Sp3 se refiere a la fase 1, Sp2 a la fase 2, Sp3 a la fase 3 y el delta de temperatura entre cada una de las fases, además de los parámetros ajustados previamente de emisividad y temperatura reflejada.

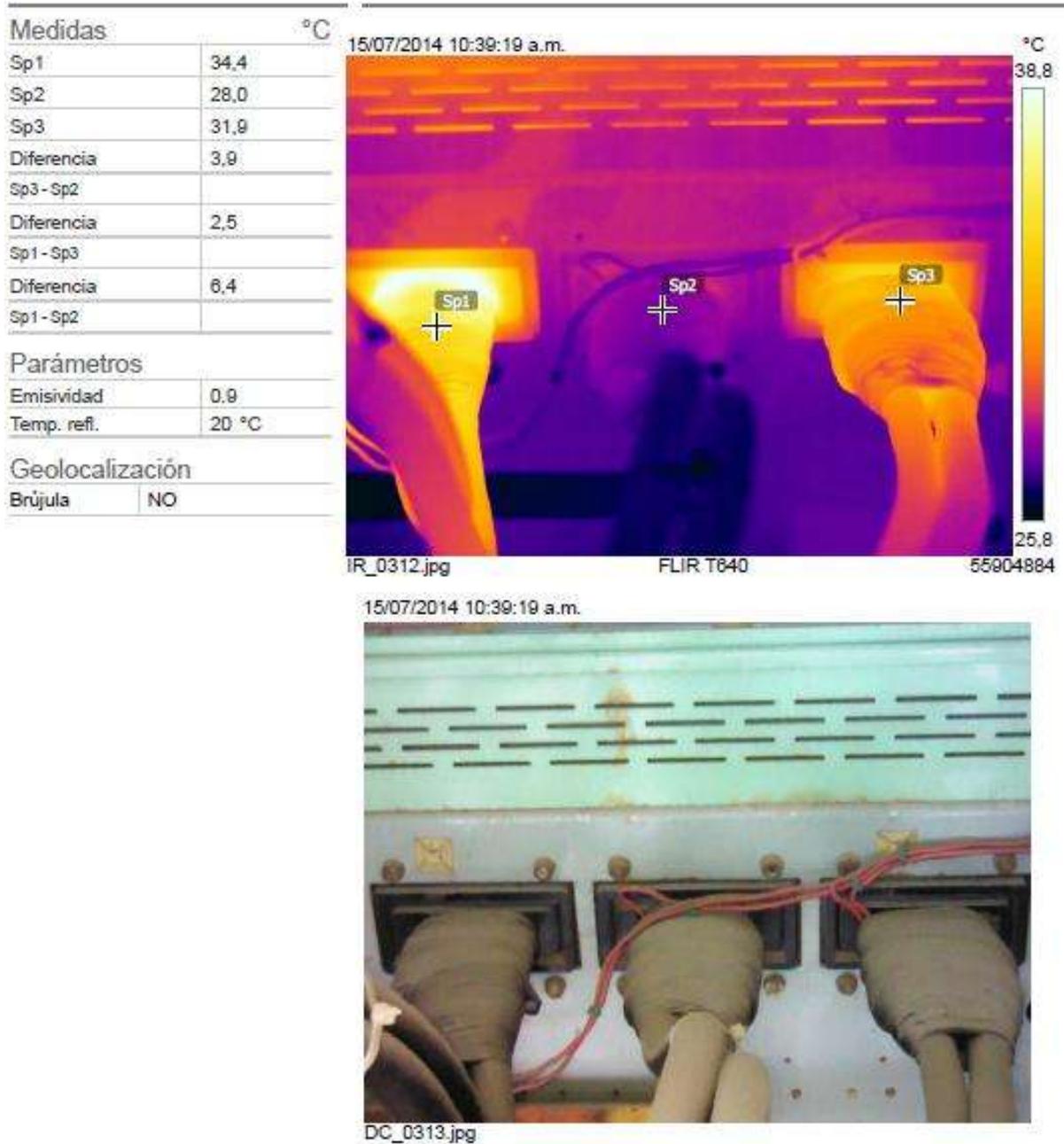


Figura 4.37 Reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia de la S.E 7H

4.10.3 S.E. 8H

La Figura 4.38 es un reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia (parte trasera) de la S.E. 8H, donde se observa la imagen radiométrica que en los puntos de conexión entre en las barras y el interruptor en la parte superior no se encontró presencia de puntos críticos en ninguna de las fases, ya que las temperaturas están muy cercanas a un mismo valor, salvo por un mínimo diferencial de temperatura de 1.5°C entre la fase 1 y fase 3, además de que no se detectó algún punto caliente, se observa que al encerrar el área (Ar1) la fase 3 que fue el caso en el cual se tuvo presencia de punto crítico con anterioridad, se puede observar que después del reapriete de los tornillos, la temperatura máxima (triángulo rojo) y mínima (triángulo azul) tienen un promedio de temperatura menor al que se tenía con anterioridad.

El termograma fue tomado a una distancia de 90cm aproximadamente y con un ajuste de los parámetros de emisividad y temperatura reflejada; la emisividad de 0.9 por que, se trata de una barra de cobre (Cu) cubierta con barniz y la temperatura reflejada de 20°C por que, es la temperatura del medio ambiente.

Se observa en la parte derecha del reporte la medida de temperatura de Ar1 que pertenece a la fase 3, que es el área encerrada donde muestra la temperatura máxima, mínima y el promedio, Ar2 que pertenece a la fase 2, que es el área encerrada donde muestra la temperatura máxima, mínima y el promedio, y la Ar3 que pertenece a la fase 1, que es el área encerrada donde muestra la temperatura máxima, mínima y el promedio. Y las medidas de temperaturas por cada una de las fases donde, Sp1 se refiere a la fase 3, Sp2 a la fase 2, Sp3 a la fase 1 y el delta de temperatura entre las fases. Además de los parámetros ajustados previamente de emisividad y temperatura reflejada.



ALIMENTACIÓN GENERAL SE-8 H PARTE SUPERIOR



Figura 4.38 Reporte termográfico sintetizado de un interruptor de potencia de la S.E 8H

4.10.4 REH-6-7

La Figura 4.39 representa la foto digital del empalme en el punto 4.9.4 anterior, debido a que se trato de un punto crítico y que no fue atendido con rapidez, consecuentemente se tuvo la destrucción, por tal motivo, no se pudo tomar un termograma del registro actual ya que los cables y empalmes tenían una edad de aproximadamente 30 años, por lo que, fue cambiado todo el cableado y por consecuencia, ya no quedaron empalmes al menos en ese circuito y registro.



Figura 4.39 Destrucción del empalme

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La técnica de la Termografía Infrarroja hoy en día, es utilizada como mantenimiento predictivo y preventivo en instalaciones eléctricas y mecánicas. Ya que conociendo la temperatura, se puede diagnosticar el estado en que se encuentra el elemento en ese punto, sin necesidad de parar o desmontar el objeto de estudio, de tal manera que se puedan planificar acciones correctivas oportunas antes que las fallas ocurran. Alargando así la vida útil del equipo eléctrico que garantice la eficiencia y confiabilidad del mismo.
- Es importante considerar que la productividad de la industria en este caso PEMEX, aumentará en la medida que las fallas por equipo eléctrico se reduzcan. Lo cual para lograr lo anterior, resulta indispensable contar con un programa de mantenimiento bien elaborado, herramientas que permitan hacer mantenimiento predictivo más apropiado y con personal capacitado tanto en el uso de las técnicas de análisis y diagnóstico de fallas implementadas, como también el conocimiento suficiente sobre las características de diseño y funcionamiento del equipo eléctrico.

5.2 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Un trabajo futuro es que por medio de la imagen radiométrica, se pudiera analizar la onda electromagnética de infrarrojo y así conocer la cantidad de energía que se esta perdiendo en forma de calor en ese punto del elemento.
- Se recomienda hacer una estadística en cuanto a los puntos en los elementos de distintas marcas, que más frecuentemente se tiene presencia de puntos calientes, con el fin de que el operario especialista a la hora de hacer una inspección tenga una más amplia visión en cuanto a puntos que hay que inspeccionar con más frecuencia y detalladamente, y además que esta información dará a conocer al departamento de Subestaciones y circuitos eléctricos sobre la calidad y confiabilidad en cuanto a las distintas marcas de los proveedores.

APÉNDICE A

TABLA DE EMISIVIDADES TÍPICAS

Esta tabla A.1 es proporcionada sólo como una guía para la estimación de emisividades de varios materiales comunes. La emisividad actual, especialmente de metales, puede variar grandemente dependiendo en el acabado de la superficie, oxidación y presencia de contaminantes.

Tabla A. 1 Tabla de emisividades

METALES	
ALUMINIO OXIDADO	0.60
LATON FUNDIDO	0.50
LATON OXIDADO	0.60
COBRE OXIDADO	0.65-0.75
HIERRO FUNDIDO PULIDO	0.25
HIERRO FUNDIDO OXIDADO	0.70
HIERRO DULCE	0.94
ACERO OXIDADO	0.75
ACERO PLATEADO RUGOSO	0.95
ACERO INOXIDABLE	0.35
PLOMO	0.05-0.1
PLOMO PULIDO	0.50-0.1
PLOMO RUGOSO	0.40
PLOMO OXIDADO	0.20-0.60
BARRAS COBRE ELECTRILITICO	0.85
NO METALES	
ASBESTOS	0.95
ASFALTO	0.95
BASALTO	0.70
CERAMICA	0.95
CONCRETO	0.95
ARCILLA	0.95
TELA	0.95
VIDRIO PLATEADO	0.85
HIELO	0.95
PAPEL (CUALQUIER COLOR)	0.95
HULE (CUALQUIER COLOR)	0.95
PLASTICO	0.90
MICARTA	0.95
AGUA	0.93
ACABADOS	
ALUMINIO BARNIZADO	0.40
BRONCE BARNIZADO	0.80
PINTURA BRILLANTE (CUALQUIER COLOR)	0.90
PINTURA OPACA (CUALQUIER COLOR)	0.95

Título del procedimiento o IT:		Monitoreo por temperatura en equipo eléctrico		Fecha:	
Verificó:		(Nombre completo)		Lista de Verificación	
ING. ELECTRICISTA	MANDO MEDIO	OPERARIO ELECTRICISTA	DESARROLLO (DESCRIPCION DE ACTIVIDADES)	Si	No
INDIO			1. El Ing. responsable de la termometría programa los equipos y solicita el trabajo entregando al mando medio la orden SAP, el Permiso de trabajo y participa en el AST.		
1	2		2. El mando medio participa en el AST, selecciona al Operario y le entrega la documentación debidamente analizada.		
		3	3 Cuenta con orden SAP, Permiso de Trabajo y AST analizado y autorizado, formato de reporte y lista de verificación		
		4	4 Cuenta con EPP y especial reglamentario y tapete dieléctrico.		⚠
		5	5 Solicita el trabajo a Fuerza y a USIPA.		
		6	6 Una vez autorizado el trabajo, se dirige al área de trabajo y avisa a Operación el trabajo que va a realizar.		
		7	7 Verificó con el personal de Operación que el sistema de salvaguarda contra descargas de CO2 está desactivado antes de ingresar a las subestaciones que cuentan con este sistema		
		8	8 Identifica el equipo o registro eléctrico.		⚠
		9	9 Se pone la careta, guantes para alta tensión y coloca el tapete dieléctrico.		
		10	10 Retira la tapa del equipo o registro eléctrico evitando hacer contacto con partes energizadas, si no tiene tapa no realizar las mediciones		⚠
		11	11 Realiza las mediciones de temperatura respetando las distancias mínimas y el ayudante las anota en el formato.		⚠
		12	12 Coloca las tapas		⚠
		13	13 Se retira del área de trabajo avisando a Operación y hace el reporte.		
		14	14 Firma el reporte y recopila las firmas del mando medio e Ing. solicitante.		
		15	15 Enviar reporte por correo electrónico a Ing. responsable de la termometría, al Ing. supervisor del Taller Eléctrico y al Ing. soporte de mantenimiento eléctrico.		
		16	16 Entrega reporte al mando medio y este a su vez al Ing. responsable y archiva una copia del mismo.		
FIN	15				

Realizó:	Nombre:		
	Dirección:		Firma Fecha

BIBLIOGRAFÍA

1. [SP-SASIPA-SI-02310] Procedimiento para la Autorización de Trabajos en Instalaciones industriales de la subdirección de la producción de Pemex Refinación. SP-SASIPA-SI-02310. (Punto 5.3.5 página 11).
2. [RICHARDS 2000] D. RICHARDS, K WARK, Termodinámica, España: Ed. MCGRAW-HILL 1ª edición 2000.
3. [KARLEKAR 1985] B. V. KARLEAKAR, M DESMOND, Transferencia de calor, México: Ed. Interamericana, 2ª edición 1985.
4. [GOOGLE] <http://www.monografias.com/trabajos92/termografia-mantenimiento/termografia-mantenimiento.shtml#>
5. [SSPA] Reglamento de Seguridad e Higiene de PEMEX Refinación Primera.
6. [FLIR SISTEM MANUAL] Manual de usuario de la cámara termográfica flir™.
7. [GOOGLE] <http://www.amperis.com/productos/camaras-termograficas>
8. [300-40800-PSIA-049] Procedimiento para trabajos en Espacios Confinados (Todo el procedimiento).
9. [PSIA-046] Procedimiento Instalación de barricadas y/o acordonamiento” (todo el documento).
10. [CME-021] Procedimiento para monitoreo por termometría a equipos eléctricos.
11. [GOOGLE] http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf.
<Http://www.google.com>
12. [HARPER 2005] GILBERTO ENRÍQUEZ HARPER, Elementos de diseño de subestaciones eléctricas, México, segunda edición 2005.
13. [GOOGLE] <http://www.apliter.com/articulo/fundamentos-fisicos/radiacion-termica-y-radiacion-infrarroja>