

LA TERMOGRAFIA COMO HERRAMIENTA DE DIAGNOSTICO PREDICTIVO
PARA LOS ELEMENTOS ELECTRICOS CONECTADOS A LA RED ENERGIA

CALET CAMACHO BEDOYA
DIEGO FERNANDO FORERO SIERRA
HECTOR ARMANDO SARMIENTO DIAZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
PEREIRA
ENERO 2017

LA TERMOGRAFIA COMO HERRAMIENTA DE DIAGNOSTICO PREDICTIVO
PARA LOS ELEMENTOS ELECTRICOS CONECTADOS A LA RED ENERGIA

CALET CAMACHO BEDOYA
DIEGO FERNANDO FORERO SIERRA
HECTOR ARMANDO SARMIENTO DIAZ

Trabajo de grado
Para optar al título de
Tecnólogo en Electricidad

Director
Ing. Carlos Alberto Ríos Porras
Docente Escuela de Tecnología Eléctrica

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
PEREIRA
ENERO 2017

DEDICATORIA

Queremos dedicar esta tesis a nuestras respectivas familias en quienes encontramos admirable ejemplo y sacrificio, para hacer de nosotros unos tecnólogos, pero sobre todo a nuestras esposas e hijos; a nuestros compañeros de clase, compañeros de trabajo que con su apoyo incondicional y sabios consejos nos estimularon a seguir siempre adelante, a la empresa de energía del Quindío quien nos dio toda su ayuda hasta el punto de permitirnos culminar con éxito este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por ser el pilar fundamental de nuestras vidas, nuestros apoyos incondicionales y la fuerza que nos motiva para dar un paso más cada día y alcanzar cada una de nuestras metas.

Al Ingeniero: Carlos Alberto Ríos Porras como director y amigo quien nos guio muy acertadamente con sus conocimientos técnicos y experiencia en el diseño de esta tesis.

A la Empresa de energía eléctrica del Quindío, especialmente a todos los compañeros del equipo de mantenimiento de redes.

Finalmente, a todas las personas que nos ayudaron de forma directa e indirecta a la elaboración de esta tesis.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE TERMOGRAFÍA	23
1.1. EL ESPECTRO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	23
1.2. ECUACIONES DE MAXWELL	26
1.3. RADIACIÓN TÉRMICA	27
1.3.1. Energía térmica	27
1.3.2. Métodos de transferencia de calor	27
1.4. CONCEPTO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA.....	30
1.4.1. Radiación de cuerpo negro (cuerpo ideal):.....	31
1.4.2. Radiación de un cuerpo no negro (cuerpo real):	33
1.5. CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN TÉRMICA.....	33
1.5.1 Velocidad de propagación en el vacío.....	33
1.5.2. Intensidad.....	34
1.5.3. Longitud de onda λ	35
1.5.4. Fase, polarización, coherencia y divergencia	35
1.6. TERMOGRAFÍA	35
1.6.1 La imagen térmica	36
1.6.2. Análisis de una imagen térmica.....	36
1.6.3. Compensación de la imagen térmica	37
1.6.4. Historia de la cámara termográfica.....	37
1.7. CUALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL TERMÓGRAFO	38
2. CÁMARA TÉRMICA THERMOPRO TP8	40
2.1. FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA TÉRMICA THERMOPRO TP8	40

2.1.1.	Descripción de la cámara THERMOPRO TP8.....	41
2.1.2.	Disposición del sistema.....	44
2.1.3.	Opciones.....	44
2.1.4.	Especificación técnica.....	45
2.1.5.	Características físicas.....	47
2.1.6.	Características del Sistema.....	47
2.1.7.	Rendimiento de Imagen.....	47
2.1.8.	Medida de la temperatura.....	48
2.1.9.	Almacenamiento de la imagen.....	48
2.1.10.	Reproducción de la imagen.....	48
2.1.11.	Introducción a los botones y joystick.....	49
2.2.	INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN.....	51
2.2.1.	Cómo usar la cámara.....	51
2.2.2.	Calibración No Uniforme (NUC).....	53
2.2.3.	Enfoque.....	54
2.3.	MEDIDAS CUALITATIVAS Y CUANTITATIVAS DE TEMPERATURA.....	54
2.3.1.	Métodos para establecer el campo de temperaturas.....	54
2.3.2.	Medida básica de la temperatura.....	55
2.3.3.	Zoom de la imagen.....	56
2.3.4.	Cómo hacer pausa y guardar las imágenes.....	57
2.3.5.	Cómo reproducir las imágenes guardadas.....	61
2.3.6.	La imagen visual (digital o real).....	66
2.4.	CÓMO ANALIZAR LA INFORMACIÓN.....	67
2.4.1.	Introducción al menú principal.....	67
2.4.2.	Análisis de los puntos.....	69
2.4.3.	Análisis de la línea.....	72

2.4.4. Análisis del Área	75
2.4.5. Análisis Isotérmico	78
2.5. ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DE DIAGNOSTICO CON EL PROGRAMA GUIDE IRANALYSER	81
2.6. ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA REALIZAR UN DIAGNOSTICO TERMOGRAFICO	88
2.6.1. Emisividad.....	88
2.6.2. El termo higrómetro.....	93
2.6.3. Distancia mínima de enfoque para hacer una termografía	93
2.6.4. Condiciones para la inspección	94
2.7. MANTENIMIENTO PREDICTIVO	95
3. MEDICIONES Y ANÁLISIS TERMOGRÁFICO CON LA CÁMARA TÉRMICA THERMOPRO TP8	96
3.1. CORTACIRCUITO DEL SECCIONADOR S-268.	97
3.2. CORTACIRCUITO DEL SECCIONADOR S-305	99
3.3. BORNES EN BAJA TENSIÓN DEL TRANSFORMADOR CONVENCIONAL.....	101
3.4. CONECTOR DBH EN RED AÉREA DE BAJA TENSIÓN DEL TRANSFORMADOR	103
3.5. BORNE DE OJO EN BAJA TENSIÓN DE UN TRANSFORMADOR PAD MOUNTED SUBTERRÁNEO.....	105
3.6. EMPALME EN RED DE BAJA TENSIÓN SUBTERRÁNEA.....	107
3.7. DERIVACION DE ACOMETIDAS EN BAJA TENSIÓN SUBTERRÁNEA	109
4. CONCLUSIONES.....	111
BIBLIOGRAFÍA	112

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. El espectro electromagnético	25
Figura 2. Aislantes.....	29
Figura 3. Convección natural.....	29
Figura 4. Reflexión, transmisión, absorción y emisión	31
Figura 5. Simulador de cuerpo negro	32
Figura 6. Imágenes de luz visible y térmica	36
Figura 7. Detección de radiación infrarroja con la cámara térmica THERMOPRO TP8.....	40
Figura 8 Descripción de las partes de la cámara termográfica (vista lateral izquierda).....	41
Figura 9. Descripción de las partes de la cámara termográfica (vista frontal) ..	42
Figura 10. Interfaces de la cámara termográfica (vista lateral derecha).....	42
Figura 11. Interfaces de la cámara termográfica (vista frontal).	43
Figura 12. Partes de la cámara termográfica (vista superior).....	43
Figura 13. Partes de la pantalla (vista superior).	44
Figura 14. Botones S, C y A.....	49
Figura 15. Botones F1, F2, F3 y F4.....	50
Figura 16. Encender la cámara.	51
Figura 17. Inicialización de la cámara	52
Figura 18. Imagen termográfica en tiempo real.....	52
Figura 19 Funciones que dispone la imagen termográfica en tiempo real.	53
Figura 20. Imagen termográfica en tiempo real.....	55
Figura 21. Imagen termográfica guardada.	56
Figura 22. Imagen termográfica en tiempo real.....	57
Figura 23. Imagen termográfica congelada.....	57

Figura 24. Imagen termográfica guardada.	58
Figura 25. Imagen termográfica congelada con su respectiva barra de herramientas.	58
Figura 26. Barra de herramientas para congelamiento de imágenes termográficas.....	59
Figura 27. Funciones de los íconos de la barra de herramientas para congelamiento de imágenes termográficas.....	59
Figura 28. Barra de herramientas para congelamiento de imágenes termográficas, en proceso de grabación.	60
Figura 29. Guardar las imágenes termográficas en tiempo real, seleccionada la opción “File list”	61
Figura 30. Imágenes termográficas guardadas, desplegadas en la pantalla. ..	62
Figura 31. Funciones de los íconos de la barra de herramienta para las imágenes termográficas guardadas.	62
Figura 32. Borrar una Imagen termográfica previamente guardada.....	63
Figura 33. Imagen termográfica guardada con la barra de herramientas de reproducción.....	64
Figura 34. Barra de herramientas para la reproducción de imágenes termográficas guardadas.....	64
Figura 35. Funciones de los íconos de la barra de herramientas para la reproducción de imágenes termográficas guardadas.....	65
Figura 36. Imagen termográfica reproducida con su respectiva barra de herramientas.	66
Figura 37. Imagen visual o real.	66
Figura 38. Imagen termográfica congelada, con su correspondiente barra de herramientas.	67
Figura 39. Imagen termográfica guardada, con su barra de herramientas de reproducción.....	67
Figura 40. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra el submenú archivo y sus opciones.....	68
Figura 41. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra el submenú parámetros y sus opciones.....	68

Figura 42. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra el submenú herramientas y sus opciones.....	69
Figura 43. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra el submenú ayuda y sus opciones.....	69
Figura 44. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra el submenú archivo, de la opción puntos.	70
Figura 45. Imagen termográfica congelada, con su respectiva barra de herramientas.	70
Figura 46. Imagen termográfica guardada, con su barra de herramientas de reproducción.....	71
Figura 47. Imagen termográfica guardada, con ocho puntos de análisis.	71
Figura 48. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra la sub-opción número de puntos.	72
Figura 49. Imagen termográfica congelada, que muestra su respectiva barra de herramientas para seleccionar el ícono: Análisis de líneas.	73
Figura 50. Imagen termográfica guardada, que muestra su barra de herramientas de reproducción para seleccionar el ícono: Análisis de líneas.	73
Figura 51. Imagen termográfica guardada, con el perfil de línea desplegado en sentido horizontal.	74
Figura 52. Imagen termográfica guardada, con el perfil de línea desplegado en sentido vertical.	74
Figura 53. Imagen termográfica congelada, que muestra su respectiva barra de herramientas para seleccionar el ícono: Análisis del área.	75
Figura 54. Imagen termográfica guardada, que muestra la barra de herramientas de reproducción para seleccionar el ícono: Análisis del área.....	76
Figura 55. Imagen termográfica guardada, mostrando ocho áreas marcadas.	76
Figura 56. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra la opción análisis y todas sus sub-opciones.....	77
Figura 57. Imagen termográfica congelada, que muestra su respectiva barra de herramientas para seleccionar el ícono: Análisis isotérmico.	78
Figura 58. Imagen termográfica guardada, que muestra la barra de herramientas de reproducción para seleccionar el ícono: Análisis isotérmico.	79

Figura 59. Imagen termográfica guardada, que muestra una banda isotérmica.....	79
Figura 60. Imagen termográfica guardada, que muestra la opción análisis y su sub-opción: IsoColor.	80
Figura 61. Ambiente del programa Guide IrAnalyser, con vista de imagen termográfica e imagen visual.....	81
Figura 62. Barra de herramientas del programa Guide IrAnalyser, para seleccionar la opción spot (punto).....	82
Figura 63. Imagen termográfica, con spots (Puntos).....	82
Figura 64. Descripción del procedimiento para acceder al asistente de Informes.	83
Figura 65. Descripción del procedimiento para abrir la plantilla de informes. ..	83
Figura 66. Inicio de asistente para elaborar los informes.	84
Figura 67. Edición de propiedades del asistente para elaborar los informes. ..	84
Figura 68. Escogiendo una Imagen termográfica con el asistente para elaborar los informes.....	85
Figura 69. Cargando una imagen termográfica y una imagen digital con el asistente para elaborar los informes.	85
Figura 70. Finalizando todos los pasos del asistente para elaborar los informes.....	86
Figura 71. Guardar como	86
Figura 72. Como guardar el informe termográfico.....	87
Figura 73. Termo higrómetro.....	93
Figura 74. Termograma cortacircuito del seccionador S-268.....	98
Figura 75. Termograma cortacircuito del seccionador S-305.....	100
Figura 76. Termograma de los bornes en baja tensión del transformador convencional CAUQ 0184.....	102
Figura 77. Termograma del conector DBH en red aérea de baja tensión del transformador CAUQ 0031.....	104
Figura 78. Termograma borne de ojo en baja tensión de un transformador pad mounted subterráneo CAUQ 0001	106

Figura 79. Termograma empalme en red de baja tensión subterránea.....	108
Figura 80. Termograma derivación de acometidas en baja tensión subterránea	110

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Niveles de certificación de termógrafos	39
Cuadro 2 Valores de emisividad de materiales comunes.....	89

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Criterios NETA (National Electric Testing Association).	96
--	----

ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Velocidad de las ondas electromagnéticas.....	23
Ecuación 2. Ley de Gauss	26
Ecuación 3. Ley de Gauss del magnetismo	26
Ecuación 4. Ley de Faraday.....	26
Ecuación 5. Ley de Ampere-Maxwell	26
Ecuación 6. Calor transmitido por conducción	28
Ecuación 7. Ley de Stefan Boltzmann.....	32
Ecuación 8. Energía neta	32
Ecuación 9. Radiación de un cuerpo no negro.....	33
Ecuación 10. Tes transmitancia	33
Ecuación 11. Velocidad de propagación en el vacío	33
Ecuación 12. Índice de refracción	34

GLOSARIO

ABSORCIÓN: es la interceptación de energía radiante (1).

AJUSTE AUTOMÁTICO: función que permite a la cámara realizar una corrección interna de la imagen (2).

AJUSTE MANUAL: método para ajustar la imagen mediante el cambio manual de ciertos parámetros (2).

ATMÓSFERA: gases presentes entre el objeto que se está midiendo y la cámara. Normalmente, se trata de aire (2).

BOLÓMETRO: “es un instrumento utilizado para recoger y medir la radiación emitida por un objeto en todas las longitudes de onda” (3).

CAMPO DE VISIÓN: es una característica que define el tamaño de lo que se ve en la imagen térmica (1).

CAMPO DE VISIÓN INSTANTÁNEO: es la característica utilizada para describir la capacidad de una cámara termográfica para resolver detalles espaciales (resolución espacial) (1).

CONDUCCIÓN: es la transferencia de energía térmica desde un objeto a otro mediante el contacto directo. La transferencia de calor por conducción se produce principalmente en sólidos, y hasta cierto punto en fluidos, ya que las moléculas más calientes transfieren su energía directamente a las moléculas adyacentes más frías (1).

CONVECCIÓN: es la transferencia de calor que se produce cuando las corrientes circulan entre las zonas calientes y frías de los fluidos. La convección se produce tanto en líquidos como en gases e implica el movimiento en masa de moléculas a diferentes temperaturas (1).

CUERPO NEGRO: objeto que no refleja ninguna radiación. Toda la radiación que emite se debe a su propia temperatura (2).

CUERPO NO NEGRO: objeto que emite una fracción fija de la cantidad de energía correspondiente a un cuerpo negro en cada longitud de onda (2).

EFFECTO COMPTON: consiste en el aumento de la longitud de onda de un fotón de rayos X cuando choca con un electrón libre y pierde parte de su energía. La frecuencia o la longitud de onda de la radiación dispersada dependen únicamente de la dirección de dispersión (4).

EFFECTO FOTOELÉCTRICO: es el fenómeno en el que las partículas de luz llamadas fotón, impactan con los electrones de un metal arrancando sus átomos.

El electrón se mueve durante el proceso, dando origen a una corriente eléctrica (5).

EFECTO TERMOELÉCTRICO: es la conversión directa de la diferencia de temperatura a tensión eléctrica y viceversa. Un dispositivo termoeléctrico crea una tensión cuando hay una diferencia de temperatura a cada lado. Por el contrario, cuando se le aplica una tensión, crea una diferencia de temperatura (conocido como efecto Peltier) (6).

EMISIÓN: se refiere a la descarga de energía radiante.

EMISIVIDAD: llamada antiguamente emitancia, es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a una diferencia de temperatura con su entorno (7).

EMITANCIA: cantidad de energía emitida por un objeto por unidad de tiempo y área (W/m^2) (2).

ENERGÍA DE RADIACIÓN: cantidad de energía emitida por un objeto por unidad de tiempo (2).

ENERGÍA RADIADA: cantidad de energía emitida por un objeto por unidad de tiempo, área y ángulo ($W/m^2/sr$) (2).

ESCALA DE TEMPERATURA: forma en que se muestra una imagen de infrarrojos. Se expresa mediante dos valores de temperatura que limitan los colores (2).

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO: es el rango de todos los tipos de radiación electromagnética clasificados por longitud de onda (1).

EVAPORÍGRAFO: es un sistema de balanza que permite saber, por contrapeso, la cantidad de agua evaporada (8).

FOTCONDUCTOR: se aplica al cuerpo cuya conductividad eléctrica cambia de acuerdo con la intensidad de la luz (9).

FOTÓN: es la partícula responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético, porque es portadora de todas aquellas formas de radiación electromagnética, entre las que se incluyen los rayos gamma, los rayos x, la luz ultravioleta, la luz infrarroja, las ondas de radio, las microondas, entre otras (10).

FOTÓNICA: (láseres, fibras ópticas, holografía, etc.), este término fotónica refleja la importancia de ambos aspectos en el entendimiento de nuevos desarrollos que el Láser ha traído al campo, como el desarrollo de fibras ópticas y tecnología de semiconductores para emisores y detectores ópticos. Así el término fotónica

refleja la importancia de la naturaleza de fotón de la luz en la descripción de la operación de muchos dispositivos ópticos (11).

INFRARROJO: radiación invisible con una longitud de onda de entre 2 y 13 μm (2).

ISOTERMA: función que resalta las partes de una imagen situadas por encima o por debajo de una temperatura, o bien entre uno o varios intervalos de temperatura (2).

ISOTRÓPICA: es la característica de los cuerpos cuyas propiedades físicas no dependen de la dirección en que son examinadas. Es decir, se refiere al hecho de que ciertas magnitudes vectoriales conmensurables, dan resultados idénticos con independencia de la dirección escogida para dicha medida (12).

NIVEL: valor central de la escala de temperatura expresado normalmente como valor de una señal (2).

ONDA: es la propagación de una perturbación que transfiere energía progresivamente de un punto a otro a través de un medio y que puede tener la forma de deformación elástica, una variación de presión, intensidad magnética o eléctrica o de temperatura (2).

PALETA: conjunto de colores utilizados para mostrar una imagen de infrarrojos (2).

PARÁMETROS DE OBJETO: conjunto de valores que describen las circunstancias en las que se ha realizado la medición de un objeto y el objeto en sí (como la emisividad, la temperatura aparente reflejada, la distancia, etc.) (2).

RADIACIÓN: es el movimiento del calor que se manifiesta cuando la energía radiante (ondas electromagnéticas) se mueve sin que exista un medio directo de transferencia. Cuando una máquina se calienta o se enfría, el calor se transfiere de manera inestable (1).

RANGO: límite de medida de temperatura global de una cámara de infrarrojos (2).

RANGO DE TEMPERATURAS: límite de medida de temperatura global de una cámara de infrarrojos. Las cámaras pueden tener diversos rangos. Se expresa mediante dos temperaturas de cuerpo negro que limitan la calibración (2).

REFRACCIÓN: es el cambio de dirección que experimenta un rayo de luz cuando pasa de un medio transparente a otro también transparente. Este cambio de dirección está originado por la distinta velocidad de la luz en cada medio (13).

REFLECTANCIA: se refiere a la relación entre la potencia electromagnética incidente con respecto a la potencia que es reflejada en una interface. Por lo tanto, la magnitud de la reflectancia es el cuadrado de la magnitud de la reflectividad (14).

REFLECTIVIDAD: es el valor límite de reflectancia a medida que el espesor de la superficie aumenta; es la reflectancia intrínseca de la superficie, por lo que su valor no depende de otros parámetros tales como la reflectancia de las capas profundas del material (14).

SISTEMA TERMODINÁMICO: (también denominado sustancia de trabajo) se define como la parte del universo objeto de estudio. Un sistema termodinámico puede ser una célula, una persona, el vapor de una máquina de vapor, la mezcla de gasolina y aire en un motor térmico y la atmósfera terrestre (15).

TEMPERATURAS RADIOMÉTRICAS: es la medición de la radiación total que proviene de una superficie, esto incluye la radiación emitida por el objeto y la reflejada por el propio objeto.

TERMOGRAMA: es la imagen de un blanco electrónicamente procesado y mostrado en la pantalla en donde los distintos tonos de color se corresponden con la distribución de la radiación infrarroja en la superficie del blanco (1).

TERMOMULTIPLICADOR: aparato de alta sensibilidad utilizada en la física para estudiar el calor radiante (17).

TERMOPAR: es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una tensión, que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia (6).

TRANSMISIÓN: es el paso de energía radiante a través de un material o estructura (2).

TRANSMITANCIA: es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en la unidad de tiempo (potencia) (18).

RESUMEN

Se estudiaron los principios de la termografía y propiedades térmicas que posee cada material para configurar correctamente la cámara térmica THERMOPRO TP8 e identificar problemas en diferentes elementos eléctricos que se encuentran en las redes de energía eléctrica de EDEQ (Empresa de energía del Quindío).

Basados en la teoría de la termografía se realizó un diagnóstico de elementos eléctricos conectados y en funcionamiento en la red eléctrica y un análisis de cada imagen capturada. Para el análisis de las imágenes se utilizó el programa "Guide IrAnalyser" el cual lo incluye la cámara térmica THERMOPRO TP8, cada una de éstas imágenes tiene una serie de información que facilitó hacer un análisis cualitativo de algunos elementos eléctricos.

Palabras clave: campo de visión, campo de visión instantáneo, conducción, convección, cuerpo negro, cuerpo no negro, emisión, emisividad, emitancia, energía de radiación, energía radiada, escala de temperatura, espectro electromagnético, infrarrojo, isoterma, radiación, rango de temperatura, refracción, reflectancia, reflectividad, temperatura radiométrica, termograma, transmisión y transmitancia.

ABSTRACT

Principles of thermography and thermal properties possessed by each material to properly configure the Thermopro TP8 thermal camera and identify problems in some electrical elements that are found in the electrical energy networks of EDEQ (Quindío's energy company).

It based on the theory of thermal imaging diagnosis was made at some electrical elements and an analysis of each image captured for image analysis Guide IrAnalyser computational package was used, which shall include the thermal camera Thermopro TP8, each of these images has a number of information supplied to make a qualitative analysis of some electrical elements.

Key words: field of visión, field of view, driving, convection, black body, no black body, emission, emissivity, emittance, radiation energy, radiated energy, temperature scale, electromagnetic spectrum, infrared, isotherm, radiation, temperature range, refraction, reflectance, reflectivity, radiometric temperature, thermogram, transmission, transmittance.

INTRODUCCIÓN

La termografía infrarroja juega un papel muy importante en las actividades de mantenimiento. Esta 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.

En el mantenimiento predictivo, la termografía infrarroja 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. Independientemente de la carga de un circuito, la vibración, la fatiga y el paso del tiempo hacen que las conexiones eléctricas se aflojen, a la vez que las condiciones ambientales pueden acelerar su proceso de corrosión, y por esto los sistemas eléctricos se deterioran con el paso del tiempo y si no se localizan estos deterioros ni se reparan podrían causar serias averías.

El desarrollo del presente proyecto proporciona a la Empresa de Energía del Quindío un impacto positivo encaminado con este plan de mantenimiento a la recuperación de las pérdidas de energía a nivel de media y baja tensión, con la implementación de equipos tecnológicos para un plan preventivo y correctivo mejorando así la eficiencia, la calidad y la prestación del servicio de energía, ofreciendo grandes ventajas a usuarios rurales, residenciales, comerciales e industriales como:

- Disminuir al mínimo los tiempos por desconexión del servicio.
- Evitar al máximo el desgaste, el deterioro y las pérdidas en los equipos y las maquinarias por fallas en el sistema.
- Brindar una mejor eficiencia, calidad y prestación del servicio

Con la implementación de este documento se pretende demostrar que con lo hasta el momento, toda empresa se define por sus propias características y diversas forma de actuar y solo sabrá si está en lo correcto cuando los resultados obtenidos se reflejen en la parte económica en ganancias, lo cual es fundamental para el grupo que maneja y gestiona el mantenimiento termográfico, buscando mejorar técnicas que mejoren el servicio y aminorar los costos para así brindar un mejor servicio día a día y así cumplir con la misión de la empresa; implementar programas que cumplan con las exigencias y confiabilidad de los sectores afectados y de esta manera poder demostrar que con este mantenimiento como herramienta se da un paso hacia el éxito de la empresa, es de anotar la gran importancia que tiene la implementación de este grupo de mantenimiento ya que en la buena ejecución documentada y detallada, se pueden ver los resultados que servirán como base en futuras aplicaciones para la prestación y aplicación de este servicio a la parte industrial del departamento.

Los objetivos del proyecto consisten en:

Objetivo general: Desarrollar un plan de mantenimiento termográfico predictivo para diferentes elementos eléctricos conectados en la red de distribución aérea y subterránea de una empresa prestadora del servicio de energía eléctrica.

Objetivos específicos:

- Conocer el estado del arte sobre termografía.
- Elaborar un manual para la configuración y el funcionamiento de la cámara térmica THERMOPRO TP8.
- Realizar mediciones con la cámara térmica THERMOPRO TP8.
- Analizar imágenes termográficas de varios elementos eléctricos conectados en la red de energía eléctrica.

1. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE TERMOGRAFÍA

1.1. EL ESPECTRO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

El espectro electromagnético es el rango de todos los tipos de radiación electromagnética clasificados por longitud de onda (1).

Las ondas electromagnéticas viajan a través del vacío con una velocidad c , su frecuencia f y longitud de onda λ están relacionadas por la Ecuación 1, (19):

Ecuación 1. Velocidad de las ondas electromagnéticas

$$c = f\lambda$$

Los diversos tipos de ondas electromagnéticas se registran en la Figura 1. No hay un punto de división claro entre un tipo de onda y el siguiente. Se observa que todas las formas de radiación se producen (clásicamente) por cargas aceleradas (19).

Las **ondas de radio**, son el resultado de cargas que se aceleran a través de alambres de conducción. Son generadas por dispositivos electrónicos, como los osciladores LC, y se usan en sistemas de comunicación de radio y televisión (19).

Las **microondas** tienen longitudes de ondas que varían entre aproximadamente 1 mm y 30 cm y son generadas también por dispositivos electrónicos. Debido a su corta longitud de onda, son bastante adecuadas en los sistemas de radar utilizados en la navegación aérea y para el estudio de las propiedades atómicas y moleculares de la materia. Los hornos de microondas representan una interesante aplicación doméstica de estas ondas (19).

Las **ondas infrarrojas** (llamadas algunas veces **ondas de calor**) tienen longitudes de onda que varían de aproximadamente de 1 mm hasta la longitud de onda más larga de luz visible, $7 \times 10^{-7} m$. Estas ondas, producidas por cuerpos calientes y moléculas, son absorbidas rápidamente por la mayor parte de los materiales. La energía infrarroja absorbida por una sustancia aparece como calor debido a que la energía agita los átomos del cuerpo, aumentando su movimiento vibratorio y rotacional, lo cual origina un aumento de temperatura. La radiación infrarroja tiene muchas aplicaciones prácticas y científicas, las cuales incluyen la terapia física, la fotografía infrarroja y la espectroscopia vibratoria (19).

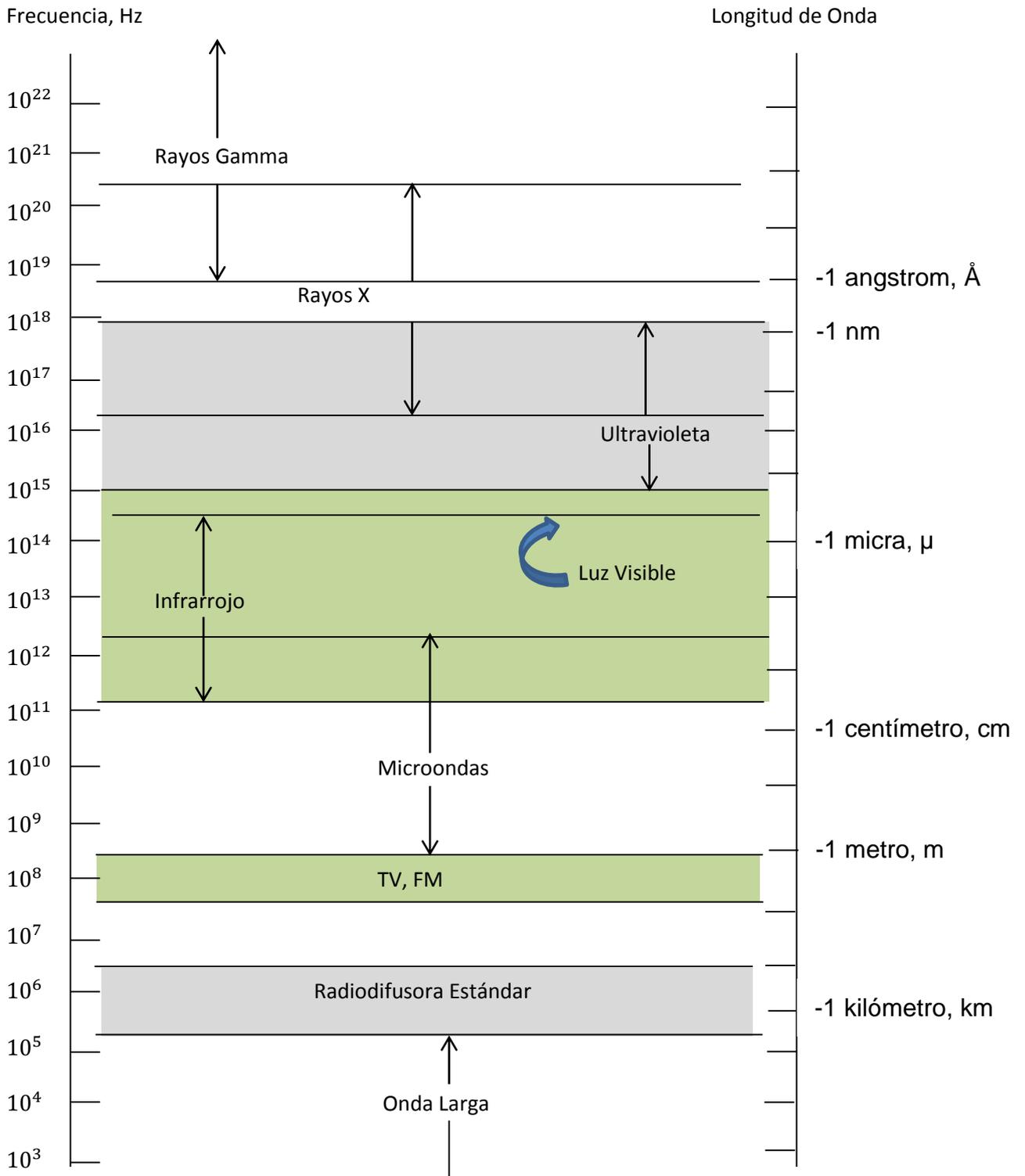
La **luz visible**, la forma más familiar de ondas electromagnéticas, es aquella parte del espectro electromagnético que el ojo humano puede detectar. La luz es producida por el reacomodo de electrones en átomos y moléculas. Las diversas longitudes de onda de la luz visible se clasifican con colores que van del violeta ($\lambda \approx 4 \times 10^{-7} m$) al rojo ($\lambda \approx 7 \times 10^{-7} m$). La sensibilidad del ojo es una función de la longitud de onda, siendo máxima a una longitud de onda de aproximadamente $5,6 \times 10^{-7} m$ (amarillo-verde) (19).

La **luz ultravioleta** abarca longitudes de onda que varían de aproximadamente $3,8 \times 10^{-7} \text{ m}$ (380 nm) a $6 \times 10^{-8} \text{ m}$ (60 nm). El sol es una importante fuente de luz ultravioleta, la cual es la principal causa del bronceado. La mayor parte de la luz ultravioleta proveniente del Sol es absorbida por átomos en la atmósfera superior, o estratósfera. Un importante constituyente de la estratósfera es el ozono (O_3), el cual es producido por las reacciones del oxígeno con la radiación ultravioleta. Está cubierta de ozono convierte a la letal radiación ultravioleta de alta energía en calor, el cual, a su vez, calienta la estratósfera (19).

Los **rayos X** son ondas electromagnéticas con longitudes de onda en el intervalo de aproximadamente 10^{-8} m (10 nm) a 10^{-13} m (10^{-4} nm). La fuente más común de rayos X es la desaceleración de electrones de alta energía que bombardean a un blanco metálico. Los rayos X se usan como una herramienta de diagnóstico en medicina y como tratamiento para ciertas formas de cáncer. Puesto que los rayos X dañan o destruyen tejidos y organismos vivos, debe tenerse cuidado para evitar una exposición o sobreexposición innecesarias. Este tipo de rayos se usan también en el estudio de la estructura cristalina, ya que sus longitudes de onda son comparables a las distancias de separación atómicas ($\approx 0,1 \text{ nm}$) en sólidos (19).

Los **rayos gamma** son ondas electromagnéticas emitidas por núcleos radiactivos (como ^{60}Co y ^{137}Cs) y durante ciertas reacciones nucleares. Tienen longitudes de onda que van aproximadamente de 10^{-10} m a menos 10^{-14} m . Son altamente penetrantes y producen serios daños cuando son absorbidos por tejidos vivos. En consecuencia, aquellos que trabajan cerca de dicha radiación peligrosa deben protegerse con materiales altamente absorbentes, como gruesas capas de plomo (19).

Figura 1. El espectro electromagnético



1.2. ECUACIONES DE MAXWELL

En su teoría unificada del electromagnetismo, Maxwell demostró que las ondas electromagnéticas son una consecuencia natural de las leyes fundamentales expresadas en cuatro ecuaciones (19):

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Ecuación 2. Ley de Gauss

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

Ecuación 3. Ley de Gauss del magnetismo

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Ecuación 4. Ley de Faraday

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

Ecuación 5. Ley de Ampere-Maxwell

Donde:

\vec{E} : Vector de campo eléctrico [V/m]

$d\vec{A}$: Vector del diferencial de superficie [m²]

Q: Carga eléctrica [C]

$d\vec{s}$: Vector del diferencial de línea [m]

ϵ_0 : Permitividad eléctrica [F/m]

\vec{B} : Campo magnético [T]

$d\Phi_B$: Flujo magnético

μ_0 : Permeabilidad magnética [H/m]

I: Corriente eléctrica [A]

$d\Phi_E$: Flujo eléctrico

“La ecuación 2 es la ley de Gauss: **el flujo eléctrico total a través de cualquier superficie cerrada es igual a la carga neta dentro de dicha superficie dividida por ϵ_0** . Esta ley relaciona un campo eléctrico con la distribución de carga que lo produce” (20).

“La ecuación 3 es la ley de Gauss del magnetismo y afirma que **el flujo magnético neto a través de una superficie cerrada es cero**. Es decir, el número de líneas de campo magnético que entra a un volumen cerrado debe ser igual al número que sale de dicho volumen, esto implica que las líneas de campo magnético no pueden comenzar o terminaren cualquier punto. Si lo hicieran, significaría que en dichos puntos existen monopolos magnéticos aislados; el hecho de que monopolos magnéticos aislados no se hayan observado en la naturaleza se considera una confirmación de la ecuación 3” (20).

“La ecuación 4 es la ley de Faraday de la inducción, que describe la creación de un campo eléctrico por un flujo magnético cambiante. Esta ley afirma que **la fem, que es la integral de línea del campo eléctrico alrededor de cualquier trayectoria cerrada, es igual a la relación de cambio del flujo magnético a través de cualquier superficie limitada por dicha trayectoria**” (20).

“La ecuación 5 es la ley Ampere-Maxwell, y describe la creación de un campo magnético por un campo eléctrico cambiante y por corriente eléctrica: la integral de línea del campo magnético alrededor de cualquier trayectoria cerrada es la suma de μ_0 veces la corriente neta a través de dicha trayectoria y $\epsilon_0\mu_0$ veces la rapidez de cambio del flujo eléctrico a través de cualquier superficie limitada por dicha trayectoria” (20).

Las ecuaciones 4 y 5 pueden combinarse para obtener una ecuación de onda tanto para el campo eléctrico como para el magnético. En el espacio vacío ($Q = 0$, $I = 0$), la solución de estas dos ecuaciones muestra que la velocidad de onda $(\mu_0\epsilon_0)^{-1/2}$ es igual a la velocidad medida de la luz. Este resultado condujo a Maxwell a la predicción de que las ondas luminosas son una forma de radiación electromagnética (19).

1.3. RADIACIÓN TÉRMICA

La radiación térmica es la transmisión de calor mediante ondas electromagnéticas. El rasgo más distintivo de las ondas es la longitud de onda. Aunque existe radiación electromagnética visible al ojo humano (luz visible), el calor irradiado solo es visible a través de sistemas termográficos (1).

A medida que un objeto se calienta, irradia más energía, que la cámara térmica “ve” y convierte en una imagen o termografía.

1.3.1. Energía térmica

La energía térmica o calorífica es la parte de energía interna de un sistema termodinámico en equilibrio que es proporcional a su temperatura absoluta y se incrementa o disminuye por transferencia de energía, generalmente en forma de calor o trabajo, en procesos termodinámicos (21).

1.3.2. Métodos de transferencia de calor

“La energía térmica se puede transferir por tres métodos distintos: conducción, convección o radiación. Cada método se puede describir como estado estable o inestable. Durante una transferencia en estado estable, la velocidad de transferencia es constante y no cambia de sentido en función del tiempo. Por ejemplo, una máquina totalmente caliente con una carga constante transfiere el calor a una velocidad estable a su entorno. En realidad, no existe el flujo de calor estable perfecto. Siempre hay pequeñas fluctuaciones transitorias, pero por motivos prácticos se suelen ignorar” (1).

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

La transferencia de calor por **conducción** se produce principalmente en sólidos, y hasta cierto punto en fluidos, ya que las moléculas más calientes transfieren su energía directamente a las moléculas adyacentes más frías (1).

Para determinar el calor transmitido por **conducción**, se necesita conocer qué factores intervienen y cómo afectan, es decir:

Ecuación 6. Calor transmitido por conducción

$$P(W) = \frac{k \cdot A(T1 - T2)}{L}$$

El valor del flujo de calor (en condiciones estacionarias) es directamente proporcional a la conductividad térmica del objeto, a la sección transversal a través de la que fluye el calor, y a la diferencia de temperatura entre los puntos del cuerpo bajo estudio. Es también inversamente proporcional a la longitud, o distancia entre ambos puntos. La transmisión de calor por conducción se ve afectada por 4 factores:

P: Potencia [W]

(W): Energía emitida

k: Conductividad térmica del material $\left[\frac{W}{(m)(K)}\right]$

A: Área de la sección transversal [m²]

T1-T2: Diferencia de temperatura [K]

L: Longitud de la trayectoria de conducción [m]

Un conductor es un material que transfiere calor con facilidad. Por lo general, los metales son grandes conductores del calor. Sin embargo, hasta la conductividad de los metales puede variar en función del tipo de metal. Por ejemplo, el hierro no es tan buen conductor como el aluminio. Un *aislante* es un material que no es eficiente en la transferencia de calor (1). A los materiales que no son eficientes en la transferencia de calor se les conoce como aislantes ver la (Figura 2).

Las paredes vienen provistas con material aislante para controlar la transferencia de calor.

Figura 2. Aislantes

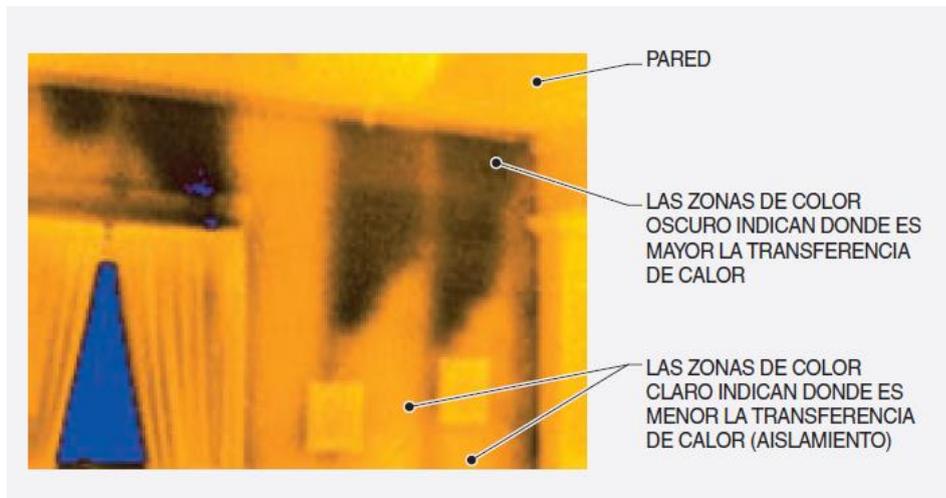


Imagen consultada en la referencia (1).

“El calor transmitido por **convección** se produce tanto en líquidos como en gases e implica el movimiento en masa de moléculas a diferentes temperaturas.”

La transferencia de calor por **convección** también queda determinada en parte por las diferencias de temperatura y superficie. Por ejemplo, el radiador de un motor grande transfiere más calor que el de un motor pequeño debido a su mayor superficie. Hay otros factores que también afectan a la transferencia de calor por convección: la velocidad del fluido, la dirección del flujo y el estado de la superficie del objeto. El radiador de un motor que está bloqueado por el polvo no transfiere el calor con la misma eficiencia que un radiador limpio (1). La convección se da naturalmente cuando los fluidos más calientes suben y los más fríos bajan, como ocurre en los tubos de enfriamiento de los transformadores de aceite ver la (Figura 3).

Figura 3. Convección natural

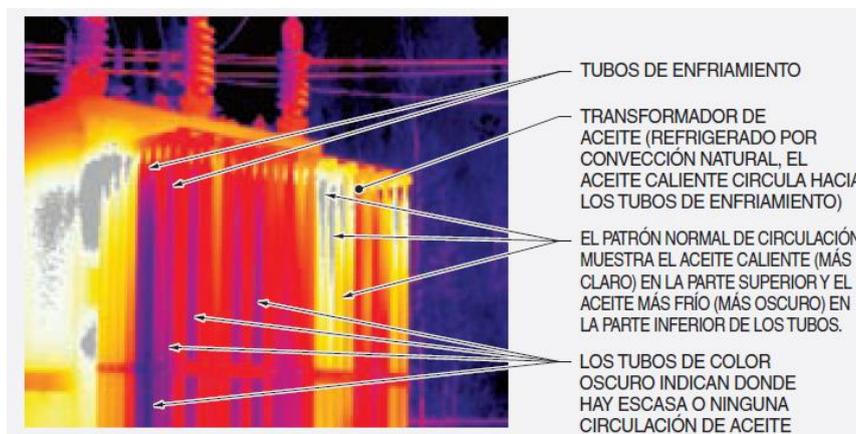


Imagen consultada en la referencia (1).

La **radiación** consiste en la emisión y transmisión de ondas electromagnéticas a través del espacio.

- Cualquier elemento con una temperatura superior al cero absoluto, o **-273 °C (0 °K)**, emite radiación infrarroja.
- Esto incluye al sol, hornos o radiadores, seres humanos, animales, techos, paredes y pisos.
- La radiación infrarroja es invisible.

Se puede dar incluso en el vacío, ya que no necesita ningún medio de transferencia. La sensación de calor producida por el sol en un día frío es un ejemplo de energía electromagnética. La energía electromagnética es radiación en forma de ondas con propiedades eléctricas y magnéticas. La energía electromagnética puede presentarse de varias formas, por ejemplo, como luz visible, como ondas de radio y como radiación infrarroja. La diferencia principal entre estas formas es su longitud de onda. Mientras que el ojo humano puede detectar longitudes de onda conocidas como luz visible, las cámaras termográficas detectan longitudes de onda conocidas como calor irradiado (o radiación infrarroja) (1).

1.4. CONCEPTO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

La luz visible y la radiación infrarroja se comportan de forma similar cuando interactúan con otros materiales. Con las cámaras infrarrojas se pueden ver los reflejos tanto de los objetos calientes como de los fríos en algunas superficies, por ejemplo, la de los metales brillantes, conocidos como “espejos térmicos”. En unos pocos casos, la radiación infrarroja se puede transmitir a través de una superficie, como en el caso de las lentes de una cámara termográfica (1).

La **transmisión** es el paso de energía radiante a través de un material o estructura. La radiación infrarroja también puede ser absorbida en una superficie, provocando un cambio de temperatura y el aumento de la emisión de energía desde la superficie del objeto (1).

La **absorción** es la interceptación de energía radiante (1).

La **emisión** se refiere a la descarga de energía radiante. Aunque un sistema de termografía por infrarrojos puede hacer una lectura de la radiación reflejada, transmitida, absorbida y emitida, solo la energía absorbida y emitida afecta a la temperatura de la superficie (1).

La radiación puede ser reflejada, transmitida, absorbida o emitida (ver la Figura 4).

Figura 4. Reflexión, transmisión, absorción y emisión

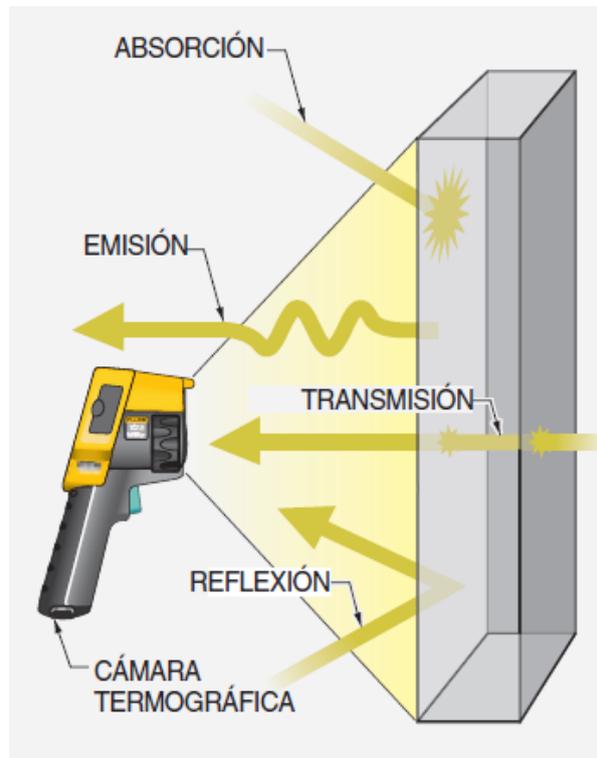


Imagen consultada en la referencia (1).

Se ha detectado que las radiaciones que dan lugar a efectos térmicos en su interacción con la materia están en la banda de $10^{-7} < \lambda < 10^{-4}$ m (ultravioleta e infrarrojo). Sabiendo esto se explicarán las teorías básicas sobre la radiación (22):

- Radiación de cuerpo negro (cuerpo ideal)
- Radiación de un cuerpo no negro (cuerpo real)

1.4.1. Radiación de cuerpo negro (cuerpo ideal):

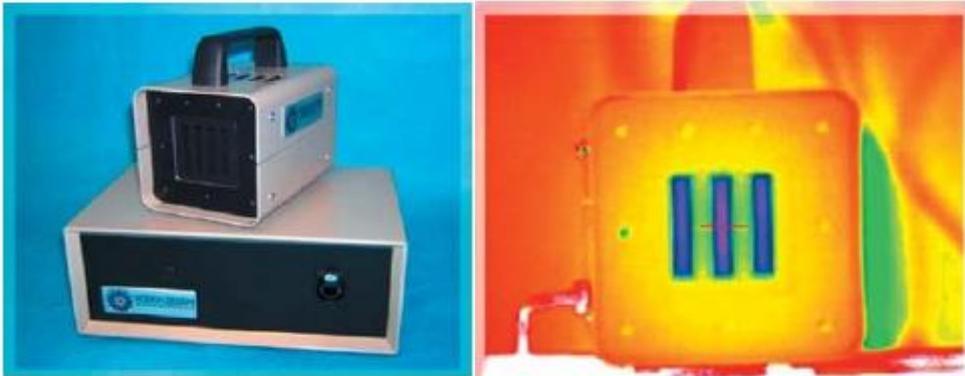
“Todos los cuerpos irradian energía que es proporcional a la temperatura absoluta. La energía térmica irradiada por un objeto se expresa en relación a la energía irradiada a la misma temperatura por un irradiador perfecto llamado un cuerpo negro. Un cuerpo negro absorbe toda la radiación que recibe e irradia más radiación térmica en todas las longitudes de onda que cualquier otra masa de la misma área y a la misma temperatura” (22).

“En realidad un cuerpo negro no se encuentra de manera natural, se fabrican con distintos objetivos; estos son los cuerpos que emiten el 100% de la radiación recibida, es decir absorben el 0%” (22).

“Debido a sus características estos cuerpos se fabrican y se utilizan para la calibración de las cámaras termográficas. A estos se les llama simuladores de cuerpos negros” (2).

En la Figura 5 se muestran los simuladores de cuerpos negros.

Figura 5. Simulador de cuerpo negro



Imágenes tomadas de la referencia (2).

La ecuación de Stefan-Boltzmann describe las relaciones que permiten que el calor se transmita en forma de radiación. Todos los objetos irradian calor. Como en el caso de la conducción y la convección, la cantidad neta de energía radiada depende de la superficie y de las diferencias de temperatura. Cuando más caliente está un objeto, más energía irradia (22).

La tasa a la cual un cuerpo negro irradia energía está dada por la ley de Stefan – Boltzmann:

Ecuación 7. Ley de Stefan Boltzmann

$$W = \sigma T^4$$

W: Energía emitida $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

σ : Constante de Stefan-Boltzmann = $5,6697 \times 10^{-6} \left[\frac{W}{(m)^2(k)^4}\right]$

T: Temperatura absoluta [K]

Esta Ecuación 7 asume que el cuerpo que recibe la radiación tiene temperatura de cero absolutos. En los casos prácticos el cuerpo que recibe se encuentra a una temperatura T_R e irradia hacia el cuerpo negro a una tasa de $W = \sigma(T_R)^4$ por unidad de área del receptor. De esta forma la energía neta que llega al receptor es (22):

Ecuación 8. Energía neta

$$W = K\sigma(T^4 - (T_R)^4)$$

Donde K es una constante que tiene en cuenta las áreas del cuerpo negro y el receptor y la distancia entre ellos. Esta Ecuación 8 es válida para todas las longitudes de onda en el espectro completo (22).

La emisividad es la medición de la capacidad de un objeto para emitir energía infrarroja. Cuando más caliente es un objeto, más energía infrarroja emitirá (23).

La cantidad de energía radiada por un objeto depende de su temperatura y de su emisividad. Un objeto que emite el máximo posible de energía para su temperatura se conoce como Cuerpo Negro. En la práctica no hay emisores perfectos y las superficies suelen emitir menos energía que un Cuerpo Negro (24).

1.4.2. Radiación de un cuerpo no negro (cuerpo real):

Los cuerpos no negros no emiten radiación como cuerpos negros. La proporción de energía irradiada por un cuerpo en relación a la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura se llama emisividad (ϵ), un número menor que 1. Si el cuerpo es opaco la emisividad se relaciona con la reflectancia (ρ) del cuerpo así (22):

Ecuación 9. Radiación de un cuerpo no negro

$$\epsilon + \rho = 1$$

Si el objeto es traslúcido, como algunos plásticos o el vidrio, parte de la energía que incide será transmitida a través del objeto. Por lo tanto, en general T es transmitancia y (22):

Ecuación 10. T es transmitancia

$$\epsilon + \rho + T = 1$$

Para la mayoría de los materiales ϵ , ρ y T son función de la longitud de onda (22).

1.5. CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN TÉRMICA

La radiación electromagnética tiene muchas características esenciales como son: velocidad de propagación, intensidad, frecuencia de pulsación, fase, polarización, coherencia y divergencia.

1.5.1 Velocidad de propagación en el vacío

Es, por definición, $c = 2,997\,924\,58 \times 10^8 \text{ m/s}$ y es siempre menor a través de cualquier otro medio transmisor. A partir de la velocidad y la frecuencia se define la longitud de onda, λ , de una radiación por:

Ecuación 11. Velocidad de propagación en el vacío

$$\lambda \equiv \frac{c}{\nu} \quad 11$$

Esta radiación conserva la misma frecuencia al pasar de un medio a otro, pero si se cambia la velocidad también cambia la longitud de onda. Se define el índice de refracción, de un medio (para una longitud de onda y una dirección de polarización dadas) como:

Ecuación 12. Índice de refracción

$$n \equiv \frac{C_{vacío}}{C_{medio}}$$

Y suele estar entre 1 y 2,5 según el material (25).

1.5.2. Intensidad

La intensidad de una radiación se mide de diferente forma según sea el rango de longitudes de onda (25):

- Para $\lambda < 10^{-10}$ m (ionizantes) por ionización en cámara de niebla o de burbujas.
- Para $10^{-10} < \lambda < 10^{-6}$ m (rayos X, UV y visible) por penetración en paquete de placas fotográficas.
- Para $10^{-7} < \lambda < 10^{-4}$ m (radiación térmica: UV, visible e Infrarroja) por efectos cuánticos, ópticos o térmicos:
 - Los efectos cuánticos son (fotovoltaico, fotoconductor o foto emisor): El efecto fotovoltaico es la base del proceso mediante el cual una célula convierte la luz solar en electricidad. El *efecto fotoconductor* es el incremento de la conductividad eléctrica de un material al ser expuesto a la luz (9). El efecto foto emisor emite electrones cuando existe energía radiante que incide sobre material sensible a dicha radiación (25).
 - Los efectos ópticos se miden comparando el brillo con el de un filamento de emisividad y temperatura conocidas (se varía la tensión de una lámpara de wolframio hasta que su brillo se confunde con el de la muestra) (25).
 - Los efectos térmicos (se llaman bolómetros, y son similares a los termómetros) se refiere a la propiedad en la cual, al circular la corriente eléctrica por un conductor este se calienta, el cual va aumentando según sea la intensidad de la corriente que circule y las moléculas empiezan a vibrar y chocar cada vez mas según la intensidad de corriente (25).
- Para $\lambda > 10^{-4}$ m (radiofrecuencia) por circuitos eléctricos inductivo-capacitivos sintonizados.

1.5.3. Longitud de onda λ

El efecto Compton consiste en el aumento de la longitud de onda de un fotón de rayos X cuando choca con un electrón libre y pierde parte de su energía. La frecuencia o la longitud de onda de la radiación dispersada dependen únicamente de la dirección de dispersión (4).

La longitud de onda λ , o la frecuencia $\nu = c/\lambda$ se mide por interferometría con mallas (redes de difracción) de anchura entre 5 y 10 λ (antenas radioeléctricas, mallas micrométricas para el infrarrojo y el visible, y redes cristalinas para los rayos X). Para $\lambda < 10^{-10}$ m se mide por efecto fotoeléctrico o por efecto Compton (25).

1.5.4. Fase, polarización, coherencia y divergencia

Estas características de la radiación (fase, polarización, coherencia y divergencia) son básicas para la óptica moderna (también llamada fotónica, la cual involucra el control de fotones en el espacio libre o en la materia), pues en ellas están basados todos los efectos de interferencias, pero no intervienen en el estudio de la radiación térmica, cuya fase es aleatoria, la polarización suele ser circular, la coherencia despreciable y la divergencia total (es decir, isotrópica) (25).

1.6. TERMOGRAFÍA

La termografía, es una técnica que permite medir temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético (2).

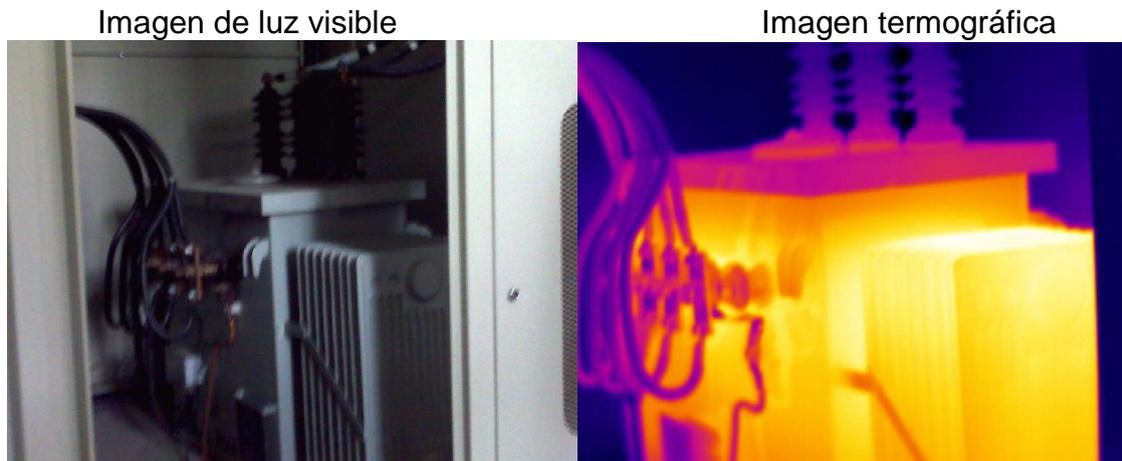
Todos los objetos tienen una información térmica, imperceptible a simple vista pero que se pone de manifiesto mediante las cámaras termográficas (2).

La información térmica corresponde a un patrón, un estado puntual en cuanto a su temperatura. Se dice que es puntual porque no se considera el objeto como algo aislado, sino al contrario, estará bajo unas condiciones cambiantes, rodeado de otros objetos que le influyan y unas actuaciones (2).

“La termografía por infrarrojos es la ciencia que estudia el uso de dispositivos óptico electrónicos para detectar y medir la radiación a partir de la cual se obtiene la temperatura de las superficies bajo estudio o del equipo inspeccionado” (1).

La cámara térmica genera imágenes basadas en la temperatura de los objetos, básicamente midiendo la energía infrarroja que emiten y convirtiendo a continuación dicha información en imágenes cuyos puntos muestran diferentes colores en función de la temperatura superficial de los objetos.

Figura 6. Imágenes de luz visible y térmica



La imagen de la izquierda es una fotografía común que muestra las imágenes de los objetos, es una imagen obtenida con luz visible.

La imagen de la derecha muestra las temperaturas de los objetos, es una imagen termográfica.

1.6.1 La imagen térmica

La imagen térmica, a diferencia de la imagen real, es una imagen de **intensidad de radiación térmica**, no de la distribución de temperaturas captadas por la cámara (2).

Diferencias en intensidades de radiación no se traducen en diferentes temperaturas. Es decir, que un mismo objeto sobre el que se está trabajando, puede estar a la misma temperatura, pero con distintas **emisividades**. Por lo tanto, la imagen térmica aparecerá con un contraste reflejado en la paleta de colores que puede hacer que tenga diferentes temperaturas (2).

1.6.2. Análisis de una imagen térmica

Se puede hacer un análisis cualitativo de la imagen obtenida, o cuantitativo.

- **Análisis cualitativo:** la imagen térmica es analizada para poner de manifiesto anomalías de distinta magnitud, localizarlas y evaluar el nivel de gravedad (2).

Al tomar imágenes cualitativas se debe ser consciente de la emisividad y los reflejos, pero no se necesita hacer correcciones en la cámara térmica porque no interesa medir temperaturas de forma precisa.

- **Análisis cuantitativo:** determina la temperatura o temperaturas de las partes de la imagen térmica que se interesan para, a partir de estas,

extraer las conclusiones sobre las anomalías detectadas y las soluciones a adoptar (2).

Las imágenes cuantitativas muestran mediciones precisas de temperatura o distribuciones de temperatura. Se debe tener en cuenta que diversos factores pueden influir en las lecturas, como ligeras variaciones causadas por cambios en la emisividad o las condiciones atmosféricas. La causa de estas variaciones puede ser la emisividad y los reflejos, al igual que el tamaño del objeto y el fondo. Se debe tener mucho cuidado al tomar imágenes cuantitativas para garantizar que sean precisas.

1.6.3. Compensación de la imagen térmica

La compensación de la imagen se realiza, durante la inspección o con el software de tratamiento de imágenes (2).

“Todas las cámaras infrarrojas permiten modificar los parámetros de objeto, temperatura aparente reflejada, emisividad, distancia, temperatura exterior y humedad relativa” (2).

La temperatura ambiente o reflejada se puede corregir o compensar en parte esta situación cambiando el valor del parámetro temperatura ambiente.

En ciertas situaciones, los objetos reflejados, como máquinas, hornos u otras fuentes de calor, tienen mucha mayor temperatura que el objeto en estudio. En otros casos, la temperatura reflejada puede ser menor que la del objeto, por ejemplo, cuando se refleja un cielo transparente.

1.6.4. Historia de la cámara termográfica.

Después que Herschel descubriera la radiación infrarroja en el siglo XIX, los primeros logros técnicos alrededor de 1920 posibilitaron la medición de dicha radiación, pero no fue hasta tiempo después cuando la radiación se convirtió de forma automática en temperatura.

En un principio, la tecnología (IR) INFRARROJA era utilizada para la guerra; más específicamente, en la Segunda Guerra Mundial. Las propiedades de la radiación infrarroja se usaron principalmente para temas militares con la invención de los misiles guiados por infrarrojos. Alrededor de la década de 1930 se inició en Alemania la investigación para el desarrollo de un sistema de visión nocturna (Nachtsichtgeraten). Los primeros prototipos, fabricados por la empresa AEG, fueron probados en 1939 para uso en las unidades antitanque. Las primeras cámaras eran pesadas grandes y poco manejables se instalaban en tanques o llevadas en la espalda por algunos soldados; en ese entonces, la potencia de las cámaras era mínima. Tras la guerra el desarrollo avanzó rápidamente; la empresa sueca AGA lanzó al mercado la primera cámara termográfica para propósitos civiles y comerciales en 1960; no fue hasta los años 80's cuando aparecieron las primeras cámaras termográficas cómodas y manejables.

Desde entonces, la tecnología termográfica ha evolucionado. Los dispositivos se han convertido en sistemas compactos con el aspecto de una cámara de video o de fotografía digital.

Son fáciles de usar y producen imágenes nítidas de alta resolución en tiempo real, opción a video y conexión Wi-Fi, lo que las convierte en una de las herramientas de diagnóstico más valiosas para el mantenimiento predictivo. En términos generales, los termómetros de infrarrojos (IR) son fiables y muy útiles para lecturas de temperatura en un único punto; sin embargo, al analizar componentes o zonas de mayor tamaño, es fácil que componentes esenciales que pueden fallar próximamente y necesiten ser reparados pasen desapercibidos.

Una cámara termográfica, por otro lado, puede analizar motores, componentes o paneles completos de una sola vez, por lo que detecta todos los riesgos de recalentamiento, por pequeños que sean. Con un termómetro de IR puntual es común no detectar problemas críticos. Las cámaras termográficas, en contraste, escanean todos los componentes, para ofrecer información de diagnóstico instantánea del problema en su totalidad.

Muchos avances técnicos, un progreso importante en el campo de la tecnología informática y la llegada de la era digital en la mitad de los 90's provocaron la rápida evolución de las cámaras; la posibilidad de adquirir instrumentos de elevadas prestaciones a un precio cada vez más barato permitieron a la termografía acceder a un espectro muy amplio de aplicaciones civiles. Y no se influye final a este impresionante progreso (26).

1.7. CUALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL TERMÓGRAFO

Aprender a usar las cámaras térmicas actuales es relativamente fácil. Por lo general, se puede llegar a dominar con una formación básica y con práctica. Sin embargo, la interpretación correcta de las imágenes térmicas suele ser más difícil. No solo requiere formación en la aplicación de la termografía sino también formación complementaria y de más larga duración, así como experiencia en el uso de cámaras termográficas. Es muy importante cualificar y certificar a los termógrafos para obtener toda la rentabilidad de la inversión en termografía. Independientemente del uso específico de la tecnología, la cualificación del termógrafo se basa en la formación, experiencia y en las pruebas sobre una de las tres categorías de la certificación (ver el Cuadro 1). Aunque la certificación del termógrafo supone una inversión, se trata de una inversión que, por lo general, tiene una gran rentabilidad. No se trata solo de que el personal certificado realice inspecciones de mayor calidad, sino que además sus inspecciones sean más coherentes técnicamente. Es más probable que los termógrafos no certificados cometan errores costosos y peligrosos. Estos errores suelen tener graves consecuencias, como recomendaciones imprecisas sobre la importancia de los problemas descubiertos o que no se detecte ningún problema. Aunque la cualificación apropiada es importante, también los son los

procedimientos de inspección redactados en papel para obtener resultados de alta calidad (1).

Cuadro 1. Niveles de certificación de termógrafos

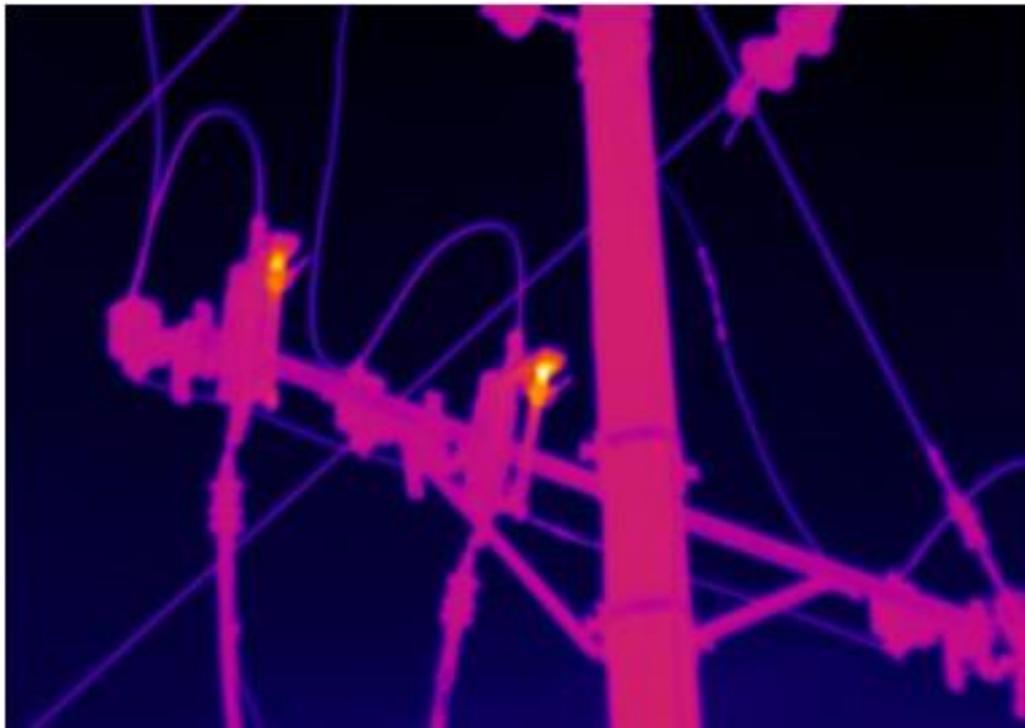
NIVEL I	Cualificado para recabar datos de alta calidad y clasificarlos por escrito con criterios de pasa/no pasa.
NIVEL II	Cualificado para configurar y calibrar el equipo, interpretar datos, crear informes y supervisar al personal del nivel I.
NIVEL III	Cualificado para desarrollar procedimientos de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

2. CÁMARA TÉRMICA THERMOPRO TP8

2.1. FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA TÉRMICA THERMOPRO TP8

La cámara térmica THERMOPRO TP8 es un instrumento de comprobación que permite la resolución de problemas, el mantenimiento, la inspección de sistemas eléctricos y mecánicos, detectando fallos potenciales durante las tareas periódicas de mantenimiento y reparación, gracias a esto se ahorra costos o incluso genera ingresos. El propósito de una cámara térmica es detectar la radiación infrarroja que emite el blanco u objetivo (27).

Figura 7. Detección de radiación infrarroja con la cámara térmica THERMOPRO TP8



“La radiación infrarroja converge, debido a la óptica de la cámara térmica, en el detector para obtener una respuesta, que normalmente es un cambio de tensión o de resistencia eléctrica, la cual es leída por los elementos electrónicos de la cámara térmica. La señal producida por la cámara térmica se convierte en una imagen electrónica (termograma) en la pantalla. Un *termograma* es la imagen de un blanco electrónicamente procesado y mostrado en la pantalla en donde los distintos tonos de color se corresponden con la distribución de la radiación infrarroja en la superficie del blanco” (1).

2.1.1. Descripción de la cámara THERMOPRO TP8

Figura 8 Descripción de las partes de la cámara termográfica (vista lateral izquierda).



- 1. Pantalla táctil LCD VGA
- 3. Rueda de Enfoque visual
- 5. Interfase USB2.0
- 7. Broche para la correa

- 2. Tapa de la Lente IR
- 4. Interfaz video VGA
- 6. Entrada de la batería
- 8. Lente Visor

Figura 9. Descripción de las partes de la cámara termográfica (vista frontal)



1. Ajustador de Dióptrico
2. Micrófono para grabar la voz
3. Botones F1-F4 de función y encendido
4. Pantalla de estado para verificar si está encendida la cámara, con sus funciones: USB, Bluetooth y estado de la tarjeta de memoria.
5. Joystick
6. Botones: S, C y A
7. Ventana de Bluetooth

Figura 10. Interfaces de la cámara termográfica (vista lateral derecha).



1. Interface de video TV /RS232
2. Encendido de interface

Figura 11. Interfaces de la cámara termográfica (vista frontal).



1. Láser localizador
2. Visualizador digital

Figura 12. Partes de la cámara termográfica (vista superior).



1. Montura para LCD

Figura 13. Partes de la pantalla (vista superior).



1. Rueda dentada de ajuste
2. Lápiz o pluma de toque para la pantalla
3. Pines de Contacto para la LCD

2.1.2. Disposición del sistema

La Cámara Termográfica, posee los siguientes elementos (27):

- Cámara IR, con láser localizador
- 35 mm de lente IR
- 3.5" De pantalla VGA LCD (Video Graphics Array) (Liquid Crystal Display), 0.6" de Lente Visor OLED (Organic Light-Emitting Diode), pluma de toque (lápiz)
- 2 GB de tarjeta memoria
- Bluetooth de auricular inalámbrico
- Dos baterías de Litio recargables
- Cargador de Batería
- Adaptador AC y cable
- Cable de VGA
- Cable USB con extensión
- Comunicación RS232 y cable de video (TV)
- Protocolo de comunicaciónRS232
- Controlador USB
- Software Guide IrAnalyser®

2.1.3. Opciones

- Control Remoto de manga
- Teledente
- Lente angular Ancha
- Extensor de rango de temperaturas

2.1.4. Especificación técnica

2.1.4.1. Rendimiento de imagen

- Tipo del detector: enfriamiento micro volumétrico FPA (384x 288 pixeles, 35 m μ)
- Rango espectral: 8-14 m μ
- Sensibilidad termográfica: 0.08°C a 30°C (Marco que promedia el algoritmo)
- Campo de Vista / Enfoque: 22°x 16° /35 mm
- Enfoque: Automático o manual
- Zoom electrónico: 1 a 10 (zoom continuo)
- Video Digital incorporado: Sensor CMOS, 1280x 1024 pixeles

2.1.4.2. Presentación de la imagen

- La Pantalla externa: 3.5" de alta resolución de color VGA LCD, 640 x 480 pixeles.
- Lente Visor 0.6" de alta resolución de color incorporada OLED, 640x 480 pixeles.
- Salida de video: VGA/PAL/NTSC intercambiables entre sí.

2.1.4.3. Comunicación hombre-máquina

Toque en la Pantalla: presenta y recibe los comandos dados por el operador, por medio del toque de Reconocimiento de Auto Habla del Sistema: Automáticamente reconoce y reacciona ante el operador ' Control Remoto de Voz de manga (optativo) Responde según operadores ' operación Joystick y Buttons (26).

2.1.4.4. Medida

Rango de temperaturas

Filtro1: -20 °C-+250°;

Filtro2: 100 °C- +800° (por arriba +2000°optativo)

Exactitud

Filtro1: ± 1 °C $\pm 1\%$ de lectura

Filtro2: ± 2 °C $\pm 2\%$ de lectura

- Modos de medida: Auto punto caliente, auto alarma y video; 8 puntos móviles y áreas modificables despliegan: máximo, mínimo, o promedio, vertical, perfil de la línea horizontal, histograma, imagen isotérmica congelada/guardada y video.
- Corrección de Emisividad: Variable de 0.01 a 1.00 (incremento de 0.01)
- Características de la medida: La corrección automática está basada en la distancia, humedad relativa, cambios atmosféricos y ópticas externas.
- Corrección de Transmisión óptica: Auto, basado en las señales de los sensores

2.1.4.5. Almacenamiento de la imagen

- Tipo: tarjeta de memoria de 2 GB extraíble o memoria interna.
- Formato de archivos: JPEG (Es un archivo que contiene imágenes infrarrojas, imágenes visuales o reales, grabación por voz y anotación de cualquier texto)
- Grabación por Voz: sobre los 30 segundos por archivo (más de 30 segundos optativo) Bluetooth de auricular inalámbrico.

2.1.4.6. Grabación de video, medición y almacenamiento

- Grabación: Video termográfico grabado al PC vía USB2.0
- Medida: Igual que la imagen
- Almacenamiento: En PC, la capacidad depende del disco duro.

2.1.4.7. Lentes optativas

El campo de Vista / Enfoque: 7.7°x 5.8° / 100 mm 45.6°x 35° / 16 mm

2.1.4.8. Láser localizador

Tipo de clasificación: 2 láser semiconductores

2.1.4.9. Sistema de poder

Tipo de la batería: Litio recargable, reemplazable

El Sistema de Carga: en la cámara o en el cargador de baterías

Tiempo de operación de la batería: más de 2.5 horas de operación continua

Operación externa de encendido: adaptador AC 110 / 220 VAC, 50 / 60 Hz

2.1.4.10. Especificación medioambiental

Temperatura de funcionamiento: -20 °C-+60 °C

Temperatura de almacenamiento: -20 °C-+60 °C

Humedad: Operando y almacenando desde el 10% al 95%.

Encapsulación: IP54 IEC 529 alojamiento

Choque Operacional: 25 G, IEC68-2-29,

Vibración Operacional: 2 G, IEC68-2-6,

2.1.4.11. Interfaces

USB 2.0: Transferencia de datos en tiempo real al PC y control de la cámara en tiempo real de la cámara al PC.

Comunicación RS232: Control de cámara sobre el PC.

2.1.5. Características físicas

Alojamiento: Magnalio

Peso: 0.85 kg (excluyendo la batería & LCD); 1.1 kg (incluyendo batería & LCD)

Tamaño: 186 mm x 106 mm x 83 mm (el Modelo Estándar)

Interfaz del trípode: 1/4 "- 20

2.1.6. Características del Sistema

- Pantalla LCD 640*480 y Lente Visor OLED, que permiten la presentación de una imagen en alta-resolución flexible.
- Intercambiable entre: VGA/PAL/NTSC que simplifica la salida de video; simultáneamente puede observarse la salida de video en la pantalla LCD, en el Lente Visor y en una pantalla de TV.
- La Cámara puede controlar: voz, mando a distancia, joystick y los botones con solo un toque de una pluma especial, activando el uso de la cámara en cualquier aplicación que se exija.
- Video termográfico radiométrico en tiempo real, graba y almacena la imagen JPEG, facilita análisis extensos y generación de reportes.
- La tecnología de la cámara permite conectar la pantalla LCD como un elemento adicional en el cuerpo de la misma, ya que esta no tiene conexión de cable.

2.1.7. Rendimiento de Imagen

- Pantalla de 256 niveles de colores en la imagen termográfica.
- La imagen se puede observar con colores reales, en ambas pantallas: LCD y Lente Visor.
- Dos Salidas de video: termográfica y visual o real, que pueden ser reproducidas en otros dispositivos (por ejemplo, VGA o TV).
- Transferencia del video termográfico a PC vía cable USB.
- Zoom Continuo de la imagen termográfica de 1 a 10.
- Enfoque automático o manual de lente IR.

2.1.8. Medida de la temperatura

- La Auto calibración asegura una alta exactitud en la imagen.
- El auto trazo se ubica con el centro del cursor en el sitio caliente, mide la temperatura y determina el punto del problema.
- Se puede analizar simultáneamente hasta 8 puntos en vivo, congelando las imágenes guardadas.
- Se puede analizar simultáneamente hasta 8 puntos en vivo, congelando las imágenes guardadas, mostrando su respectivo Máximo, Mínimo o temperatura Media, dentro de cada área.
- El análisis de las líneas se puede hacer en vivo, agrandando o congelando las imágenes guardadas; el perfil de la línea se puede cambiar en el sistema de coordenadas horizontal o vertical.
- Los análisis Isotérmico e Histograma, se pueden hacer en vivo, agrandando o congelando las imágenes guardadas.

2.1.9. Almacenamiento de la imagen

- Se pueden congelar las imágenes para analizar múltiples puntos, áreas, líneas y además realizar análisis isotérmicos.
- Se pueden congelar las imágenes, comprimir datos radiométricos, imágenes infrarrojas, imágenes visuales y grabar la voz, para posteriormente guardarse en la tarjeta de memoria de 2 GB en formato JPEG estándar.
- Graba más de 30 segundos la voz en formato digital para cada imagen.
- La tarjeta de memoria puede grabar 1000 imágenes y la memoria interna puede almacenar hasta 450 imágenes.
- El video termográfico se puede grabar en la PC a través del cable USB. La medida de la temperatura y los diferentes tipos de análisis se pueden grabar también en el video.

2.1.10. Reproducción de la imagen

- Las imágenes guardadas en tarjeta de memoria pueden ser reproducidas en la cámara.
- La temperatura medida y los diferentes tipos de análisis de las imágenes pueden ser reproducidas.
- La grabación de voz, imágenes visuales o reales, se guardan junto con las imágenes termográficas para poder ser reproducidas.
- El video termográfico grabado puede ser reproducido en el PC.
- Las imágenes guardadas en la tarjeta de memoria, pueden ser descargadas al PC, para un análisis extenso y generación de reportes con la Guía del software IrAnalyser®

2.1.11. Introducción a los botones y joystick

2.1.11.1. El botón On/Off: Control de la alimentación de poder

Presionar el botón On/Off durante 3 segundos para encender o apagar la cámara.

2.1.11.2. Joystick: múltiples funciones

Figura 14. Botones S, C y A



Cuando no hay ningún menú desplegado en la imagen termográfica, mover el Joystick de arriba a abajo para ajustar el enfoque y de izquierda a derecha para agrandar la imagen continuamente. Cuando no hay ningún menú desplegado en la imagen termográfica, congelada o guardada, mover el Joystick en todas las direcciones para que el centro del cursor mida la temperatura de cualquier punto en la imagen.

Presionar el Joystick para ingresar a todos los menús; mover de arriba a abajo y de izquierda a derecha, para corregir y alternar entre los diferentes sub-menús u opciones del menú, o para alterar diferentes valores de los parámetros. Cuando existe un cuadro de diálogo desplegado en la imagen termográfica, presionar el joystick para confirmar la selección y cerrar el cuadro.

Cuando una opción en la barra de herramientas se resalta, presionar el joystick para seleccionar esta opción y ejecutar el comando que corresponde (27).

2.1.11.3. El botón S: Congela y guarda, (opción conmutable)

Presionar el botón S para congelar una imagen termográfica y presionar otra vez para guardarla en la memoria interna o en la tarjeta de memoria.

Presionar el botón S para alternar entre los 8 puntos y áreas, mientras se reconoce y analiza el área en vivo de las imágenes termográficas congeladas o guardadas. Presionar el botón S para cambiar entre los sistemas de coordenadas horizontal y vertical cuando se realice la línea de análisis en vivo de las imágenes termográficas congeladas o guardadas.

Presionar el botón S para cambiar entre las opciones o botones en los menús y cuadros de diálogo (27).

2.1.11.4. El botón C: Cancelación

Presionar el botón C para cancelar un cuadro de diálogo o menú y volver a la imagen termográfica.

Cuando no hay ningún menú o cuadro de diálogo en la imagen termográfica, presionar el botón S para guardar y realizar una calibración no uniforme (27).

2.1.11.5. Botón A: Rango de temperatura, filtro y paleta de control

Cuando no hay ningún menú desplegado en la imagen termográfica, presionar el botón A por 2 segundos para cambiar entre sus tres modos: Auto 1, Auto 2 y Manual, con la sugerencia correspondiente “Auto 1”, “Auto 2” o “Manual” mostrado en la barra de estado al fondo izquierdo de la imagen. El brillo y contraste de la imagen son automáticamente controlados en los dos auto modos y pueden ajustarse en modo manual.

Cuando no hay ningún menú desplegado en la imagen termográfica, presionar el botón A por un momento, para seleccionar el menú de configuración de temperatura al lado derecho de la imagen. Mover el joystick de arriba a abajo para alternar entre sus opciones: Tmax, paleta, Tmin y rango del filtro, mover de izquierda a derecha para cambiar sus respectivos valores (27).

Figura 15. Botones F1, F2, F3 y F4



2.1.11.6. El botón F1: modo sleep

Presionando el botón F1 en modo de trabajo normal puede cambiar a modo sleep, todas las salidas de video se apagan y la luz roja del indicador en la parte de atrás de la cámara parpadea.

Presionando de nuevo el botón F1, se puede cambiar a modo de trabajo normal, y la luz roja del indicador en la parte de atrás de la cámara permanecerá encendida (27).

2.1.11.7. El botón F2: De imagen termográfica a imagen visual o digital (conmutable)

Presionando el botón F2, cambia de imagen térmica a imagen visual o viceversa.

2.1.11.8. El botón F3: El láser localizador / Control del histograma

La opción Láser, se encuentra en el sub-menú, Función de Parámetro y está puesto en ON, presionar el botón F3 en la imagen termográfica, para encender el láser localizador y presionar otra vez para apagarlo.

El Histograma, se encuentra en el sub-menú, Función de Parámetro y está puesto en ON, presionar el botón F3 en la imagen termográfica congelada o guardada para visualizar o cerrar el histograma (27).

2.1.11.9. El botón F4: Autoenfoco

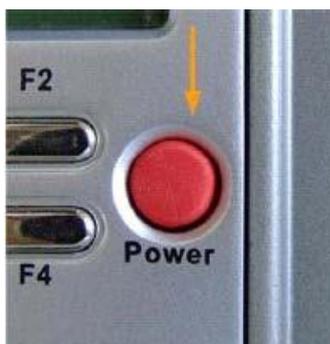
Cuando no hay ningún menú o cuadro de diálogo desplegado en la imagen termográfica, presionar el botón F4 hasta que un marco aparezca en la imagen, apuntar el marco al objeto a ser enfocado y entonces liberar el botón F4, la cámara enfocará automáticamente hasta conseguir una imagen clara del objetivo (27).

2.2. INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN

2.2.1. Cómo usar la cámara

Para encender la cámara presionar el botón On/Off durante 2 segundos.

Figura 16. Encender la cámara.



Entonces la imagen se carga y se despliega en la pantalla, la inicialización se muestra en la Figura 16 y en la Figura 17, consecutivamente con música (27).

Figura 17. Inicialización de la cámara

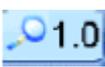
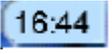


Después de que se despliega la pantalla de inicialización desaparece, la imagen se muestra en la Figura 18, con el logotipo de la Guía y el menú de configuración de temperatura al lado derecho, barra de estado, barra de zoom, barra control de habla, barra de memoria media, barra de temperatura y barra de tiempo con un botón ver la Figura 19.

Figura 18. Imagen termográfica en tiempo real.



Figura 19 Funciones que dispone la imagen termográfica en tiempo real.

Ícono	Importancia	Función
	Logotipo Guide	Se ubica en el menú principal con un Clic de la pluma de toque
	Menú de configuración de la temperatura	Despliega la unidad de la temperatura y ajuste Tmax, Tmin, paleta y el rango del filtro de la imagen
	Barra de estado	Muestra el estado de la imagen: en vivo, congelada, guardada, en modo automático
	Barra de zoom	Indica el aumento de la imagen actual
	Barra de control de habla	Indica el estado de On/Off de la función de auto control del habla
	Barra de memoria media	Indica la memoria media que usa la cámara actualmente
	Barra de temperatura	Despliega el centro de temperatura y la temperatura máxima de la imagen actual
	Barra de Tiempo	Muestra el tiempo actual de la Cámara

2.2.2. Calibración No Uniforme (NUC)

- Después de encender la cámara y esperar que la inicialización termine, la cámara realizará una Calibración No Uniforme automáticamente (NUC). Desde ese momento, 5 segundos después, 25 segundos después y 45 segundos después, la cámara realizará 3 NUC automáticamente.
- Mientras está funcionando, la cámara realizará NUC automáticamente a una frecuencia regular. NUC permite al detector de la cámara automáticamente aislar la imagen de ruido, mientras asegura la normalización y afina la imagen.
- Si es necesario, un NUC manual puede realizarse. Para realizar un NUC manual, presionar el botón C y luego el botón S cuando no hay ningún menú o cuadro de diálogo desplegado en la imagen termográfica.
- Durante el NUC la imagen hace una pausa temporalmente, una contraventana se pone delante del detector.

- Este proceso toma sólo un par de segundos, sin embargo, para buenos resultados, asegurarse que la cámara esté apuntando a una baja temperatura uniforme o poner la tapa.

2.2.3. Enfoque

2.2.3.1. El enfoque termográfico

Hay dos métodos para ajustar el enfoque: manual y automático.

Antes de enfocar, asegurarse que la tapa de la lente esté descubierta y no haya ningún menú o cuadro de diálogo desplegado en la imagen termográfica.

- Para enfocar manualmente, apuntar la lente al objeto y entonces mover el joystick de arriba abajo.
- Para un enfoque automático, presionar el botón F4 hasta que aparezca un marco en la imagen, apuntar el marco al objeto y entonces liberar el botón F4, la cámara enfocará automáticamente hasta conseguir una imagen clara del objeto.

2.2.3.2. El enfoque visual o real de la cámara.

El Visualizador digital de la cámara necesita ser enfocado manualmente.

- Presionar el botón F2 para cambiar de la imagen termográfica a la imagen visual.
- Girar la rueda del enfoque visual, que se encuentra bajo el lado izquierdo del lente, para conseguir una imagen clara del objeto.

2.3. MEDIDAS CUALITATIVAS Y CUANTITATIVAS DE TEMPERATURA

2.3.1. Métodos para establecer el campo de temperaturas

Hay 3 métodos disponibles para establecer el campo de temperaturas: **Auto 1**, **Auto 2** y **Manual**

- Para cambiar entre los tres modos, no debe existir ningún menú desplegado en la imagen termográfica, luego se debe pulsar el botón A durante 2 segundos y entonces liberarlo para cambiar entre los 3 modos. La sugerencia "Auto 1", "Auto 2" o "Manual" aparecerá en la barra de estado al fondo de la pantalla.
- En ambos modos Auto 1 y Auto 2, el contraste y brillo de la imagen son automáticamente controlados por la propia cámara a través de T_{max} y T_{min}. En el modo manual, se puede ajustar el contraste y brillo manualmente alterando los valores de T_{max} y T_{min}.
- La única diferencia entre los modos Auto 1 y Auto 2 es que el modo Auto 1 permite ver el objeto y sus ambientes bastante claros, pero Auto 2 sólo permite ver claramente el objeto.

- En cada modo, cuando no hay ningún menú desplegado en la imagen termográfica, presionar el botón A por un momento para seleccionar el menú de configuración de temperatura al lado derecho de la imagen. Entonces el menú fluctúa, indicando que esta opción cambió de valores. Mover el joystick de arriba a abajo para alternar entre sus opciones Tmax, paleta, Tmin y filtro, y mover de nuevo el joystick de izquierda a derecha para cambiar los valores respectivos de las opciones.
- El rango de temperaturas estándar de la cámara es -20 a 800°C que son divididos en dos rangos de filtro. El rango para el filtro 1 es: -20 a 250°C; el rango para el filtro 2 es: 100 a 800°C.
- Si la temperatura designada es más alta que el rango del filtro actual, el símbolo “+++” o “---” aparecerá en la barra de la pantalla de temperatura bajo la imagen. Indica que el rango del filtro debe cambiarse manualmente.

2.3.2. Medida básica de la temperatura

Para la medida básica de la temperatura, primero se debe asegurar que se ha seleccionado un rango de temperatura adecuado y que la imagen está enfocada. Dos métodos están disponibles, medida de la temperatura en tiempo real, y medida de la temperatura estática.

2.3.2.1. Medida de la temperatura en tiempo real

- Este método siempre está disponible en la imagen termográfica.
- Hay dos cursores en la imagen termográfica. Uno siempre es fijo en el centro de la imagen; el otro siempre está rastreando el punto más caliente de la imagen.
- Bajo la imagen termográfica, dos valores de temperatura están presentes en la barra de temperatura. El valor de C indica la temperatura del centro; el valor de M indica la temperatura máxima ver la Figura 20.

Figura 20. Imagen termográfica en tiempo real.



2.3.2.2. Medida de la temperatura estática.

- Este método está disponible cuando no hay ningún menú desplegado en las imágenes termográficas congeladas o guardadas.
- Asegurar la cámara cuando se fije la imagen en el enfoque, presionar el Botón S para congelar la imagen; luego seleccionar y abrir una imagen guardada, ver la Figura 21.
- Mover el centro del cursor con el joystick, de arriba a abajo, de izquierda a derecha o hacer clic con la pluma de toque en el centro del cursor y moverla dentro de la pantalla.
- El primer valor es la temperatura del movimiento del cursor; este cambia al mismo tiempo cuando el cursor entra en la pantalla. El segundo es la temperatura máxima; esta nunca cambia, ver la Figura 21.

Figura 21. Imagen termográfica guardada.



2.3.3. Zoom de la imagen

Cuando no hay ningún menú desplegado en la imagen termográfica (Figura 22), mover el joystick de arriba a abajo para ajustar el enfoque y de izquierda a derecha para agrandar o reducir la imagen continuamente de 1 a 10 veces, con la amplificación actual mostrada en la barra de zoom bajo la imagen.

Figura 22. Imagen termográfica en tiempo real.



2.3.4. Cómo hacer pausa y guardar las imágenes

Asegurar la cámara al fijar la imagen en el enfoque, entonces presionar el Botón S para congelar la imagen ver la Figura 23. Ahora el estado de la imagen cambia para ser congelada. La sugerencia de congelamiento se muestra en la barra de estado bajo la pantalla de la imagen.

Figura 23. Imagen termográfica congelada.



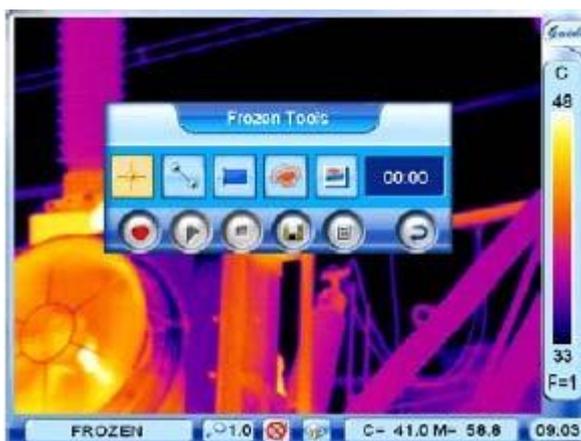
Al presionar el botón S otra vez, se puede guardar directamente la imagen congelada en la memoria (interna o tarjeta de memoria). Entonces el nombre de la imagen guardada "IR * * * * *" se desplegará en la barra de estado bajo la pantalla de la imagen durante 2 segundos ver la Figura 24.

Figura 24. Imagen termográfica guardada.



- Se pueden hacer múltiples tipos de operaciones en la imagen congelada, antes de guardarla en la memoria, tales como: medida de la temperatura estática, ajuste de rangos de temperaturas, análisis de puntos, líneas, áreas, desplegar imágenes digitales, grabación y reproducción de voz, agregar anotación de texto, análisis de histogramas, etc.
- Cuando no hay ningún menú desplegado en la imagen congelada, se puede realizar una medida de la temperatura estática y ajustar el campo de temperaturas según la sección 2.3.1.
- Para realizar la operación mencionada, presionar el joystick o usar la pluma de toque, haciendo clic en el logotipo de la Guía, ubicado en la esquina derecha de la pantalla desplegando la barra de herramientas congelada, como se muestra en la Figura 24 y en la Figura 25.

Figura 25. Imagen termográfica congelada con su respectiva barra de herramientas.



Las Funciones de los íconos en la barra de herramientas se detallan en la Figura 26 y en la Figura 27. Mover el joystick de arriba a abajo, y de izquierda a derecha para alternar entre cada ícono, presionando el joystick se puede seleccionar un ícono y ejecutar su comando. También se puede usar la pluma de toque, simplemente haciendo clic en cada ícono para seleccionarlo.

Figura 26. Barra de herramientas para congelamiento de imágenes termográficas.



Figura 27. Funciones de los íconos de la barra de herramientas para congelamiento de imágenes termográficas

Ícono	Importancia	Función
	Análisis de puntos	Realiza el análisis de puntos en la imagen congelada
	Análisis de la línea	Realiza el análisis en la imagen congelada
	Análisis de puntos	Realiza el análisis de puntos en la imagen congelada
	Análisis de la línea	Realiza el análisis en la imagen congelada
	Análisis del Área	Realiza el análisis del área en la imagen congelada
	Análisis isoterma	Realiza el análisis isoterma en la imagen congelada
	Tiempo de anotación de voz	Muestra el tiempo de anotación de voz grabada, para la imagen congelada

Ícono	Importancia	Función
   	<p>Inicio de Grabación</p> <p>Grabación</p> <p>Parar la Grabación</p> <p>Comando Guardar</p>	<p>Empieza a grabar la voz</p> <p>Graba la voz</p> <p>Detiene la grabación de la voz</p> <p>Guarda la voz grabada o el texto anotado en la imagen congelada; graba la imagen congelada con la anotación de voz y el texto en la memoria media</p>
	Anotación de texto	Agrega la anotación del texto a la imagen congelada
	Comando Salir	Permite salir de la barra de herramientas de congelamiento

Si se necesita agregar la grabación de voz a la imagen termográfica, seleccionar el ícono Iniciar grabación, con la pluma de toque, o mover el joystick, para conseguir que se resalte el ícono que empieza a grabar y entonces presionar el joystick para seleccionarlo. Entonces solo en ese instante se puede empezar la grabación magnetofónica, en la que se visualiza el tiempo de grabación en un cuadro, resaltándose el ícono de parada ver la Figura 28.

Figura 28. Barra de herramientas para congelamiento de imágenes termográficas, en proceso de grabación.



- Hasta 30 segundos de voz pueden grabarse por cada imagen. Para detener la grabación, presionar el ícono de Parada. Una vez que alcance los 30 segundos, se detendrá automáticamente la grabación. Sin embargo, el ícono de grabación seguirá resaltado.
- Para repetir la grabación, seleccionar el ícono que graba haciendo clic con la pluma de toque o presionando el joystick directamente. Cuando reproduzca, el ícono de Parada se resalta. Se puede detener la reproducción en cualquier momento.
- Si existe un error en la grabación, la operación anterior puede repetirse, hasta que se haya realizado una grabación correcta.

- Si se considera que la grabación es correcta, se puede seleccionar el ícono guardar imagen. Entonces se guardará en la tarjeta de memoria, con el nombre de archivo "IR * * * * *" desplegado en la barra de estado bajo la pantalla de la imagen.

2.3.5. Cómo reproducir las imágenes guardadas

Las imágenes guardadas pueden ser reproducidas o borradas de la cámara: Desplegar el menú principal y seleccionar la opción lista de Archivo, bajo el submenú, con la pluma de toque ver la Figura 29. Presionar el joystick cuando no haya ningún menú desplegado en la imagen, para acceder al menú principal, con lista de Archivo resaltada. Presionar el joystick de nuevo para seleccionar la opción lista de Archivo.

Figura 29. Guardar las imágenes termográficas en tiempo real, seleccionada la opción "File list"



- Ahora las imágenes en miniatura se despliegan en la pantalla (6 por pantalla) y la barra de herramientas del archivo se desplegará bajo la imagen. En este momento, se resaltará la primera imagen y el archivo de ícono, ver la Figura 30.
- Para alternar entre las 6 imágenes dentro de la pantalla, hacer clic con la pluma de toque o mover el joystick, de arriba abajo y de izquierda a derecha. Para seleccionar una imagen, escoger el ícono inicio (play) haciendo clic con la pluma de toque. Se pueden también presionar el botón S para resaltar el ícono primero y entonces presionar el joystick para seleccionarlo.

Figura 30. Imágenes termográficas guardadas, desplegadas en la pantalla.



- Para alternar entre cada ícono de la barra de herramientas del archivo, hacer clic con la pluma de toque o presionar el botón S. Después se resaltará un ícono, presionando el joystick se seleccionará y ejecutará la función correspondiente. Las Funciones de los íconos se muestran en la Figura 31.

Figura 31. Funciones de los íconos de la barra de herramienta para las imágenes termográficas guardadas.

Ícono	Importancia	Función
	Archivo abrir	Abre una imagen seleccionada
	Arriba	Al Presionarlo permite volver a la pantalla anterior
	Abajo	Al presionarlo permite volver a la próxima pantalla
	Borrar archivo	Borra una imagen seleccionada
	Borrar todos	Borra todas las imágenes guardadas en la memoria interna y la tarjeta de memoria
	Salir del comando	Permite salir del estado de reproducción de la imagen termográfica

- Si se guardan más de 6 imágenes, las mismas se desplegarán en más de 1 pantalla. Para alternar entre las pantallas, seleccionar el ícono Arriba o Abajo.
- Para borrar una imagen, seleccionar el ícono Borrar archivo. Entonces aparecerá un cuadro de diálogo en la pantalla “Borrar imagen”. Seleccionar el botón Sí para borrar o el botón No, para cancelar la eliminación ver la (Figura 32). Los dos botones pueden seleccionarse, haciendo clic con la pluma de toque o presionando el botón S.

Figura 32. Borrar una Imagen termográfica previamente guardada.



- Para abrir una imagen, seleccionar el ícono Abrir archivo.
- Se pueden realizar múltiples tipos de análisis como: medida de la temperatura estática, análisis de puntos, áreas, líneas, isotérmico, repetición de la imagen digital, repetición de anotación por voz, repetición de anotación del texto, análisis del histograma, etc. (Figura 35.).
- Para hacer el análisis mencionado, abrir la barra de herramientas con un clic en el ícono de la Guía, ubicado en la esquina derecha de la pantalla con la pluma de toque o presionando el joystick. La barra de herramientas ofrece opciones similares a la barra de herramientas congelada. Al hacer clic en cada ícono con la pluma de toque, se las puede seleccionar respectivamente, o moviendo el joystick, de arriba a abajo y de izquierda a derecha se resaltará una opción primero y luego presionar de nuevo para seleccionarla ver la Figura 33 y la Figura 34.

Figura 33. Imagen termográfica guardada con la barra de herramientas de reproducción.



Figura 34. Barra de herramientas para la reproducción de imágenes termográficas guardadas.



Figura 35. Funciones de los íconos de la barra de herramientas para la reproducción de imágenes termográficas guardadas

Ícono	Importancia	Función
	Análisis de puntos	Realiza el análisis de puntos en la imagen reproducida
	Análisis de la línea	Realiza un análisis de la línea en la imagen reproducida
	Análisis del Área	Realiza el análisis del área en la imagen reproducida
	Análisis isoterma	Realiza el análisis isoterma en la imagen reproducida
	Tiempo de grabación por voz	Graba la voz para reproducir la imagen
	Inicio de la reproducción de voz	Empieza la reproducción de la voz
	Detener la reproducción de voz	Detiene la grabación de la voz
	Derecha	Seleccionar para abrir la próxima imagen
	Izquierda	Seleccionar para abrir la imagen anterior
	Repetición de texto	Repite la grabación del texto agregada a la imagen reproducida
	Comando Salir	Sale de la barra de herramientas de la repetición

- Para la reproducción de la imagen, seleccionar el ícono en la pantalla. Entonces la imagen tomada junto con la reproducción de la imagen termográfica se desplegará.
- Para la reproducción de la grabación por voz, seleccionar el ícono Inicio de la reproducción. Entonces solo en ese momento se puede escuchar la voz y ver el tiempo en el ícono Tiempo. También se puede detener automáticamente la reproducción antes que termine. Esto se puede hacer al seleccionar el ícono detener grabación de voz ver la (Figura 36).

Figura 36. Imagen termográfica reproducida con su respectiva barra de herramientas.



2.3.6. La imagen visual (digital o real)

La cámara ofrece la función imagen real ver la Figura 37. La imagen real puede cambiarse a su imagen termográfica correspondiente en estado dinámico o estático.

Figura 37. Imagen visual o real.



Esto se lo puede hacer fácilmente, presionando el botón F2 de la función directamente. También se puede seleccionar el ícono de la imagen real desplegado en la barra de herramientas congelada o de reproducción ver la Figura 38 y la Figura 39.

Figura 38. Imagen termográfica congelada, con su correspondiente barra de herramientas.



Figura 39. Imagen termográfica guardada, con su barra de herramientas de reproducción.



- El enfoque de la cámara también puede ajustarse. Generalmente el enfoque es conveniente. Si se necesita ajustarlo se lo puede hacer manualmente al girar la rueda de enfoque visual bajo la lente de la cámara.
- Para cambiar a la imagen termográfica, presionar de nuevo el botón F2 o en su defecto, el botón C.

2.4. CÓMO ANALIZAR LA INFORMACIÓN

2.4.1. Introducción al menú principal

- La cámara ofrece un uso amigable para Windows en el menú principal. El menú principal se desplegará en la pantalla, al hacer clic en el icono de la Guía, ubicado en la esquina derecha de la pantalla o presionando el joystick cuando no hay ningún menú desplegado en la pantalla.

- Los submenús pueden desplegarse haciendo clic con la pluma de toque o moviendo el joystick de arriba abajo, como se muestra en la Figura 40; **Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, la Figura 41, Figura 42 y Figura 43.
- En cada submenú, las opciones son desplegadas al hacer clic con la pluma de toque o moviendo el joystick de izquierda a derecha. La opción resaltada se confirma al hacer un clic con la pluma o presionando el joystick.
- Para salir del menú en cualquier momento y volver a la imagen termográfica, presionar el botón C o hacer clic en el ícono de la Guía ubicado en la esquina derecha de la pantalla.

Figura 40. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra el submenú archivo y sus opciones.



Figura 41. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra el submenú parámetros y sus opciones.



Figura 42. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra el submenú herramientas y sus opciones.



Figura 43. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra el submenú ayuda y sus opciones.



2.4.2. Análisis de los puntos

- El Análisis de los puntos puede realizarse en vivo, en las imágenes agrandadas, congeladas o guardadas.
- Para las imágenes en vivo o agrandadas, desplegar el menú principal, seleccionar la opción puntos bajo el Archivo del submenú con la pluma de toque o presionar el joystick ver la Figura 44.

Figura 44. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra el submenú archivo, de la opción puntos.



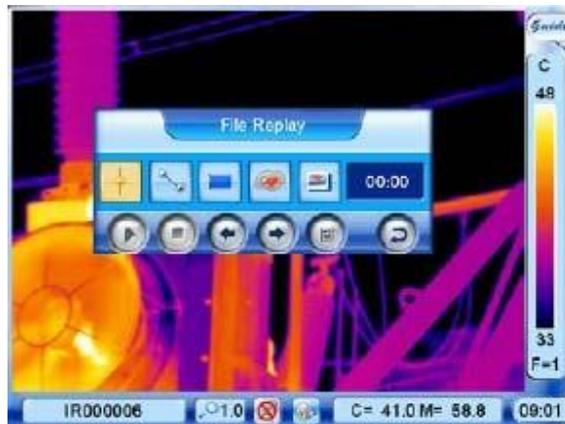
En las imágenes congeladas, desplegar la barra de herramientas congelada con la pluma de toque o el joystick. Hacer clic en el ícono de análisis de puntos con la pluma de toque para seleccionarlo, o mover el joystick para resaltar el ícono de análisis de puntos primero y luego presionar el joystick para seleccionarlo ver la Figura 45.

Figura 45. Imagen termográfica congelada, con su respectiva barra de herramientas.



En las imágenes guardadas, el análisis de puntos se puede realizar cuando las imágenes fueron reproducidas. Desplegar la barra de herramientas otra vez con la pluma del toque o con el joystick. Hacer clic en el icono puntos y seleccionar con la pluma del toque, o mover el joystick para resaltar el ícono de puntos primero y luego presionar el joystick para seleccionarlo ver la Figura 46.

Figura 46. Imagen termográfica guardada, con su barra de herramientas de reproducción.



Se muestran 8 puntos en la pantalla marcados de la A hasta la H ver la Figura 47. Al hacer un Clic con la pluma de toque o con el botón S, se puede alternar entre ellas. La temperatura del punto seleccionado se despliega en la barra de estado bajo la pantalla de la imagen.

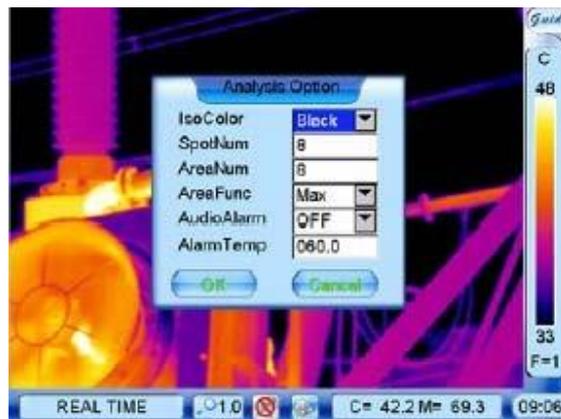
Figura 47. Imagen termográfica guardada, con ocho puntos de análisis.



Para mover cada punto después de seleccionarlo, hacer clic con la pluma del toque, arrastrar a la posición deseada y entonces liberarlo; mover el joystick de arriba o abajo y de la izquierda a derecha hasta la posición que se desee y entonces liberarlo. La temperatura del punto mostrada en la barra de estado cambiará de acuerdo con los movimientos del punto.

- Es posible cambiar el número de puntos de 1 a 8. Esto se hace ubicando el valor en la sub-opción Número de Puntos en la Opción Análisis bajo el submenú Parámetro, entonces seleccionar el botón OK para confirmar la configuración. Después de esto, un número correspondiente de puntos estará disponible para el análisis de puntos ver la Figura 48.

Figura 48. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra la sub-opción número de puntos.



Presionar el botón C para salir, congelar, o guardar la imagen.

2.4.3. Análisis de la línea

- El Análisis de la línea puede realizarse en las imágenes agrandadas, congeladas o guardadas.
- En las imágenes en vivo o agrandadas, desplegar el menú principal, seleccionar la opción Línea, bajo el Archivo del submenú, con la pluma de toque o presionar el joystick.
- En las imágenes congeladas, desplegar la barra de herramientas congelada con la pluma de toque o con el joystick. Hacer clic en el ícono de análisis de Línea con la pluma de toque para seleccionarlo, o mover el joystick para resaltar el ícono de análisis de Línea primero y luego presionar el joystick para seleccionarlo ver la Figura 49.

Figura 49. Imagen termográfica congelada, que muestra su respectiva barra de herramientas para seleccionar el ícono: Análisis de líneas.



En las imágenes guardadas, el análisis de la línea puede realizarse cuando las imágenes son reproducidas. Desplegar la barra de herramientas de reproducción con la pluma del toque o con el joystick. Hacer clic en el ícono de análisis de Línea con la pluma de toque para seleccionarlo o mover el joystick para resaltar el ícono de análisis de Línea, primero y luego presionar el joystick para seleccionarlo ver la Figura 50.

Figura 50. Imagen termográfica guardada, que muestra su barra de herramientas de reproducción para seleccionar el ícono: Análisis de líneas.



- El cursor representa el primer punto de la línea que se despliega en la imagen.
- Existen dos métodos que están disponibles para trazar una línea.
- Método 1: hacer clic y arrastrar el cursor a la posición deseada con la pluma de toque, luego soltar el cursor. La línea estrazada.

- Método 2: Mover el joystick de arriba a abajo y de izquierda a derecha, para ubicar el cursor en una posición adecuada, presionar el joystick para confirmar la posición (es decir el primer punto de la línea); mover el joystick de nuevo a otra posición y entonces presionar para confirmar la nueva posición (es decir, el punto final de la línea). Entonces la línea es trazada.
- Presionar el joystick para confirmar la línea. Mientras, el perfil de la línea también se despliega en la imagen, con un Máximo y Mínimo de temperatura de las líneas en el sistema de coordenadas ver la Figura 51.

Figura 51. Imagen termográfica guardada, con el perfil de línea desplegado en sentido horizontal.



El sistema de coordenadas está predeterminado para un estilo horizontal. Presionar el botón S para cambiar a vertical y viceversa ver la Figura 52.

Figura 52. Imagen termográfica guardada, con el perfil de línea desplegado en sentido vertical.



En las imágenes en vivo o agrandadas, el perfil de la línea y temperaturas cambiarán en tiempo real como también en los cambios que se realicen en la imagen: Presionar el botón C para salir y volver a la imagen en vivo, congelada o guardada.

2.4.4. Análisis del Área

- El Análisis del Área puede realizarse en las imágenes en vivo, congeladas o guardadas.
- En las imágenes en vivo o agrandadas, desplegar el menú principal, seleccionar la opción Área bajo el Archivo del submenú, con la pluma de toque o al presionar el joystick.
- En las imágenes congeladas, desplegar la barra de herramientas congelada, con la pluma de toque o con el joystick. Hacer clic en el ícono de análisis del Área con la pluma de toque para seleccionarlo, o mover el joystick para resaltar el ícono de análisis del área primero y luego presionar el joystick para seleccionarlo ver la Figura 53.

Figura 53. Imagen termográfica congelada, que muestra su respectiva barra de herramientas para seleccionar el ícono: Análisis del área.



En las imágenes guardadas, el análisis del área puede realizarse cuando las imágenes son reproducidas. Desplegar la barra de herramientas de reproducción con la pluma de toque o con el joystick. Hacer clic en el ícono de análisis del área, con la pluma de toque para seleccionarlo o mover el joystick para resaltar el ícono de análisis del área primero y luego presionar el joystick para seleccionarlo ver la Figura 54.

Figura 54. Imagen termográfica guardada, que muestra la barra de herramientas de reproducción para seleccionar el ícono: Análisis del área.



Aparecen 8 áreas marcadas de la A hasta la H ver la Figura 55. Al hacer clic con la pluma de toque o presionar el botón S se puede alternar entre ellas. La temperatura del área seleccionada, tipo de medida de temperatura, Mínimo, Promedio o Máximo se despliegan en la barra de estado bajo la pantalla de la imagen.

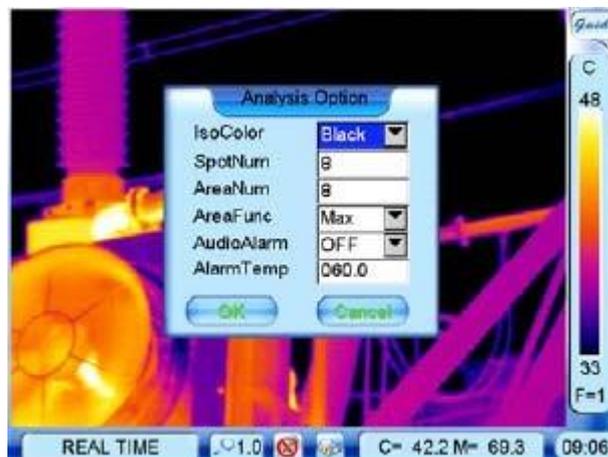
Figura 55. Imagen termográfica guardada, mostrando ocho áreas marcadas.



Para mover cada área después de seleccionarla, hacer clic en el centro con la pluma de toque, moverla a una posición adecuada y entonces soltarla, o mover el joystick de arriba a abajo y de izquierda a derecha hasta una posición adecuada y entonces liberarla. La temperatura desplegada en la barra de estado cambiará de acuerdo con esto.

- Para cambiar el tamaño de un área después de seleccionarla, hacer clic en una de sus cuatro esquinas con la pluma de toque, luego arrastrarla a una esquina, hasta una posición adecuada y entonces soltarla, o también presionar el botón A por un momento, moviendo el joystick de arriba a abajo y de izquierda a derecha hasta una posición apropiada para liberarla.
- Pueden establecerse áreas de: Máximo, Mínimo o Promedio de temperatura. Para realizar esto se establecen valores en la sub-opción: Área Función que se encuentra en Análisis, bajo la opción Parámetro, luego se selecciona el botón OK para confirmar la configuración ver la Figura 56.

Figura 56. Imagen termográfica en tiempo real, que muestra la opción análisis y todas sus sub-opciones.



- Es posible cambiar el número de áreas, de 1 a 8. Para realizar esto, se establece un número de Áreas en la sub-opción Análisis, ubicada bajo la opción Parámetro, para luego seleccionar el botón OK para confirmar la configuración. Después de este procedimiento, un número correspondiente de áreas estará disponible en el análisis del área ver la Figura 56.
- Presionar el botón C para salir y volver a la imagen en vivo, congelada o guardada.

2.4.5. Análisis Isotérmico

- El Análisis Isotérmico puede realizarse en las imágenes, congeladas, agrandadas o guardadas.
- En las imágenes en vivo o agrandadas, desplegar el menú principal, seleccionar la opción Isotérmica, bajo el Archivo del submenú, con la pluma de toque o presionando el joystick.
- En las imágenes congeladas, desplegar la barra de herramientas congelada, con la pluma de toque o con el joystick. Hacer clic en el ícono de análisis Isotérmico con la pluma de toque para seleccionarlo, o mover el joystick para resaltar primero el ícono de análisis Isotérmico y entonces presionar el joystick para seleccionarlo ver la Figura 57.

Figura 57. Imagen termográfica congelada, que muestra su respectiva barra de herramientas para seleccionar el ícono: Análisis isotérmico.



En las imágenes guardadas, el análisis isotérmico puede realizarse cuando las imágenes son reproducidas. Desplegar la barra de herramientas de repetición con la pluma de toque o con el joystick. Hacer clic en el ícono de análisis Isotérmico con la pluma de toque para seleccionarlo, o mover el joystick para resaltar el ícono de análisis Isotérmico primero y luego presionar el joystick para seleccionarlo ver la Figura 58.

Figura 58. Imagen termográfica guardada, que muestra la barra de herramientas de reproducción para seleccionar el ícono: Análisis isotérmico.



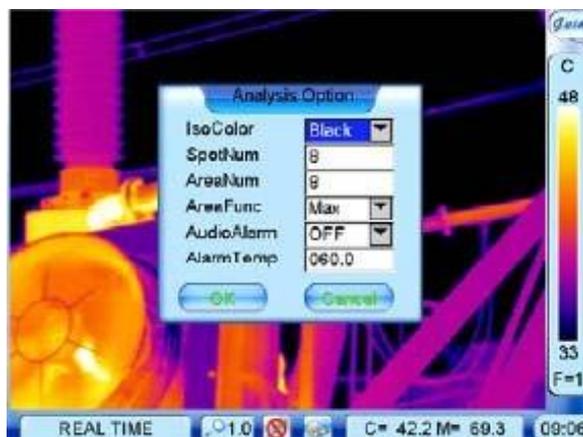
Mover el joystick de arriba a abajo para establecer una temperatura máxima de la banda isotérmica y de izquierda a derecha para establecer una temperatura mínima ver la Figura 59.

Figura 59. Imagen termográfica guardada, que muestra una banda isotérmica.



Existen tres colores isotérmicos para escoger. Esto se hace estableciendo un valor en la sub-opción IsoColor de Análisis bajo el submenú Parámetro, luego seleccionar el botón OK para confirmar la configuración ver la Figura 60.

Figura 60. Imagen termográfica guardada, que muestra la opción análisis y su sub-opción: IsoColor.



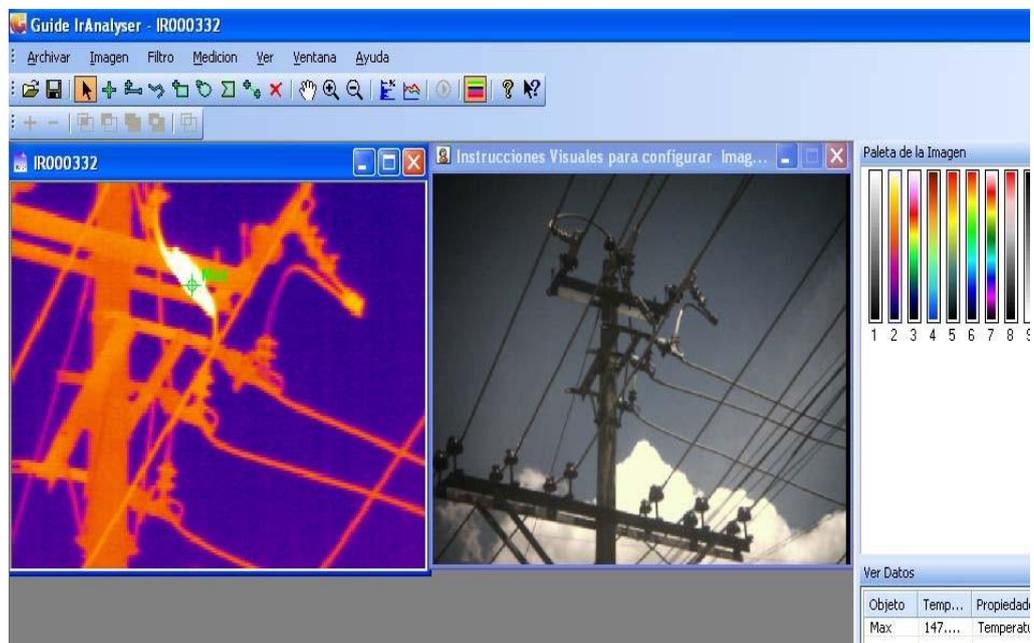
Presionar el botón C para salir y volver a la imagen en vivo, congelada o guardada

2.5. ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DE DIAGNOSTICO CON EL PROGRAMA GUIDE IRANALYSER

A continuación, se muestra la forma de elaborar un informe termográfico con el programa Guide IrAnalyser.

- Se debe dar inicio al programa “Guide IrAnalyser”, haciendo doble clic en el ícono respectivo ver la Figura 61.
- Luego de abrir el programa, hacer clic en el ícono abrir, ubicado en la barra de herramientas, para seleccionar la imagen termográfica que irá en el reporte.

Figura 61. Ambiente del programa Guide IrAnalyser, con vista de imagen termográfica e imagen visual.



Luego, escoger la opción spot de la barra de herramientas (ver la Figura 62) para ubicarlo en cada lugar de la imagen termográfica según la necesidad (ver la Figura 63), para que en el reporte se muestren dichos puntos con su respectiva temperatura.

Figura 62. Barra de herramientas del programa Guide IrAnalyser, para seleccionar la opción spot (punto).

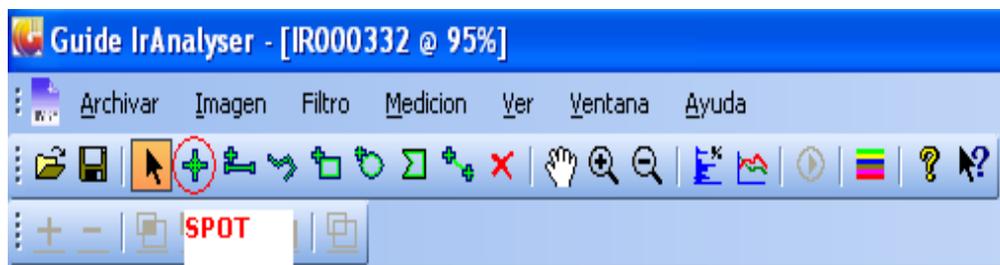


Figura 63. Imagen termográfica, con spots (Puntos).



Se debe hacer un clic en archivo, luego en la opción informe y escoger la opción asistente de informes (ver la Figura 64).

Figura 64. Descripción del procedimiento para acceder al asistente de Informes.

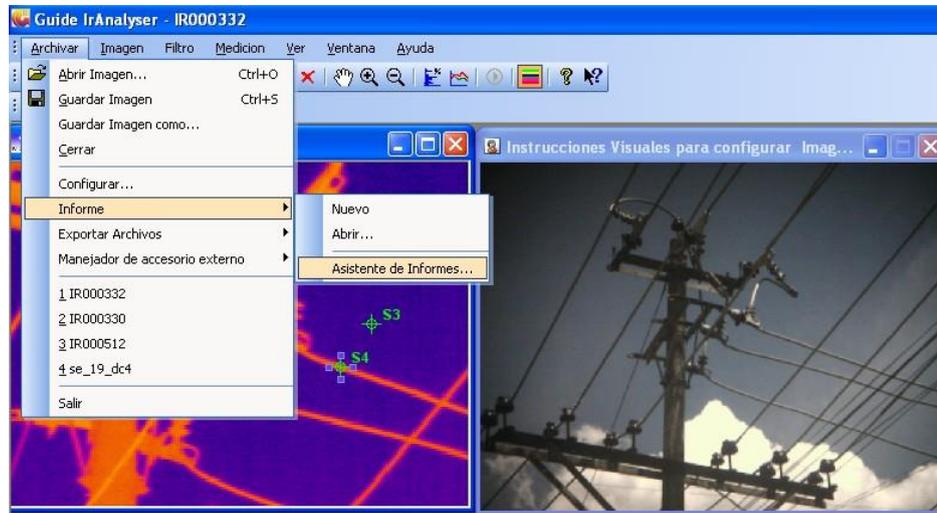
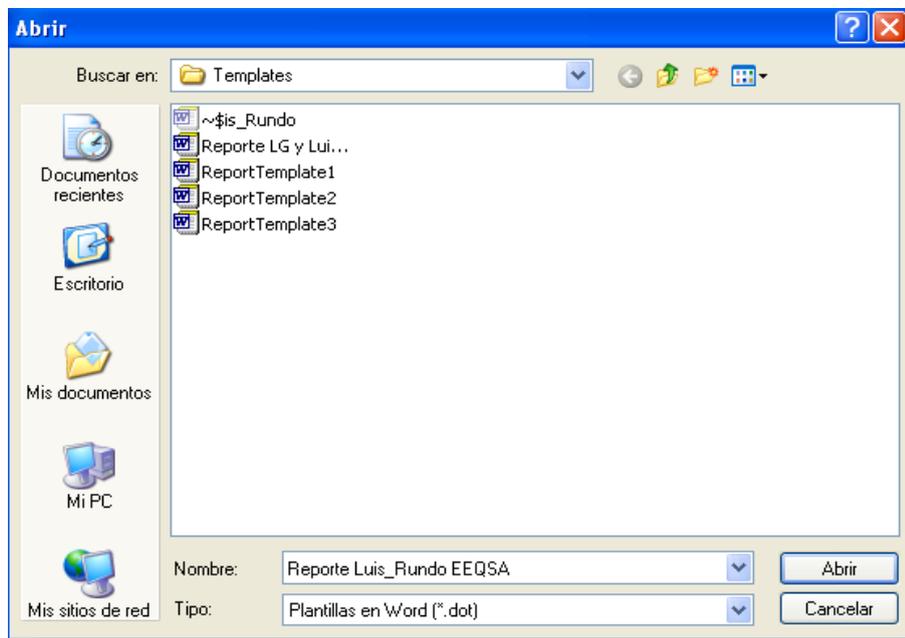


Figura 65. Descripción del procedimiento para abrir la plantilla de informes.



Se debe ingresar al asistente para realizar el informe y seguir todos los pasos que solicita el programa (ver la Figura 66).

Figura 66. Inicio de asistente para elaborar los informes.

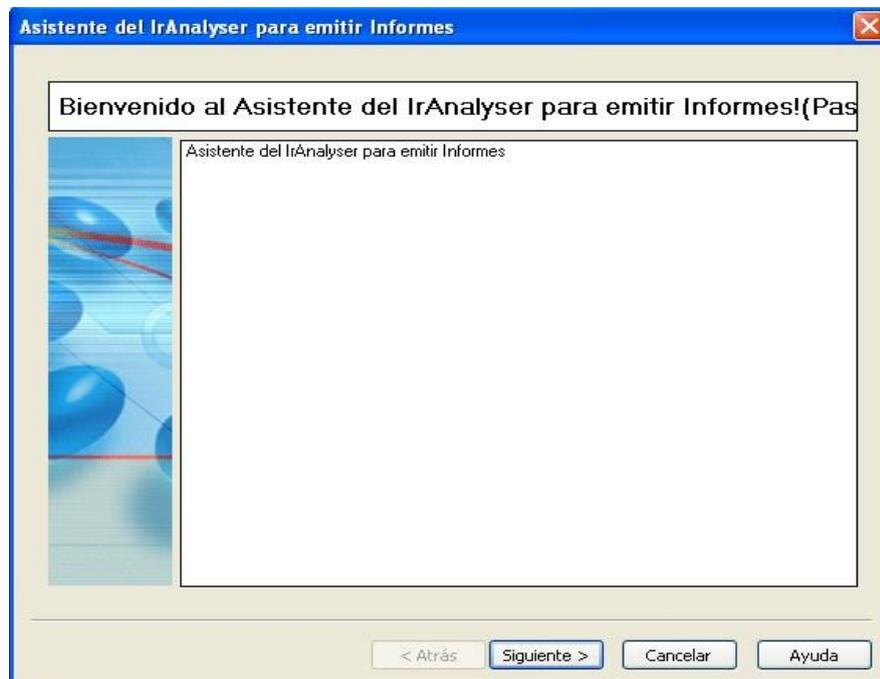


Figura 67. Edición de propiedades del asistente para elaborar los informes.

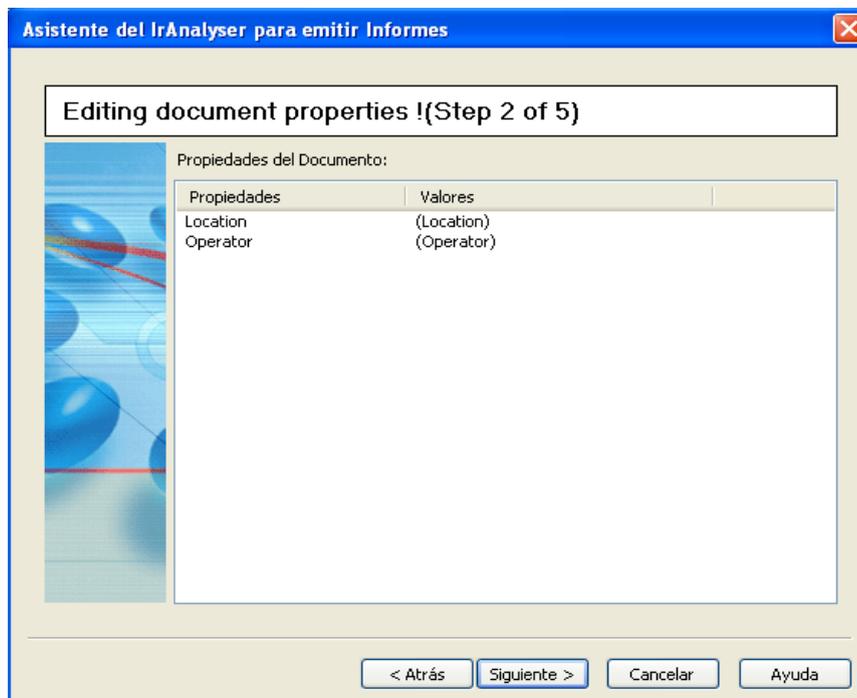


Figura 68. Escogiendo una Imagen termográfica con el asistente para elaborar los informes.

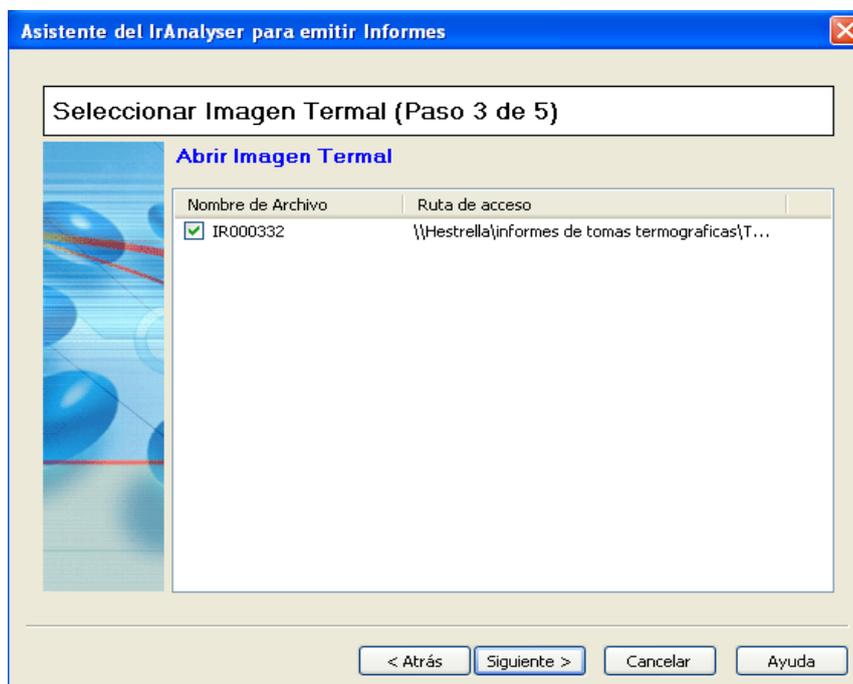
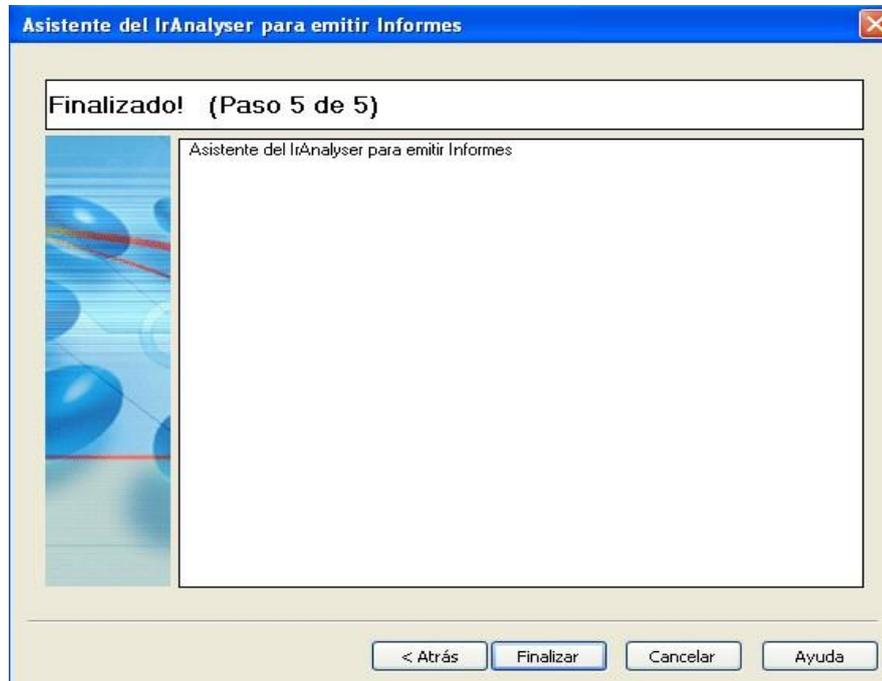


Figura 69. Cargando una imagen termográfica y una imagen digital con el asistente para elaborar los informes.



Figura 70. Finalizando todos los pasos del asistente para elaborar los informes.



Finalmente se debe guardar el informe termográfico creado en una carpeta, con su respectivo nombre.

Figura 71. Guardar como

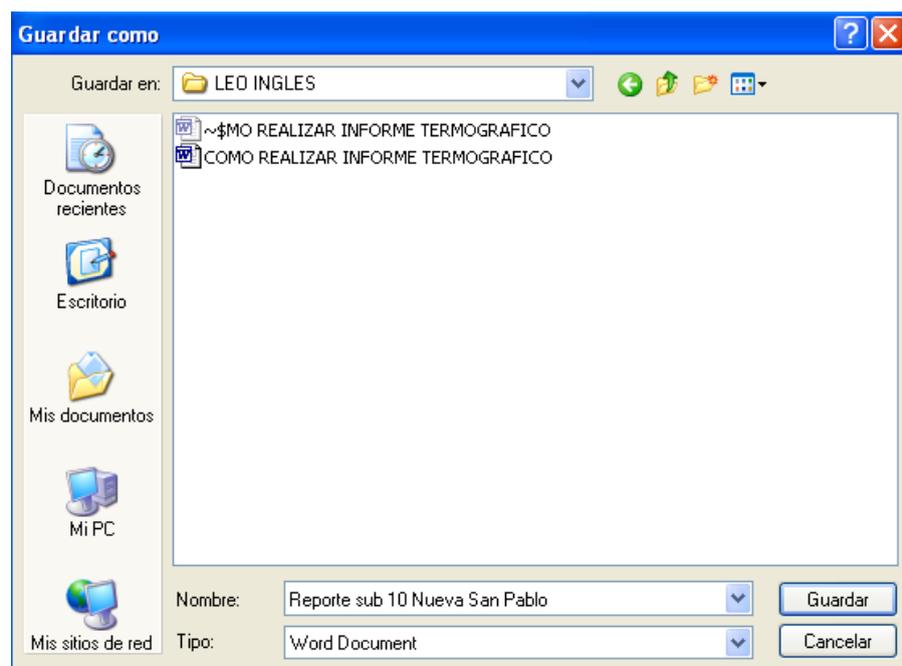
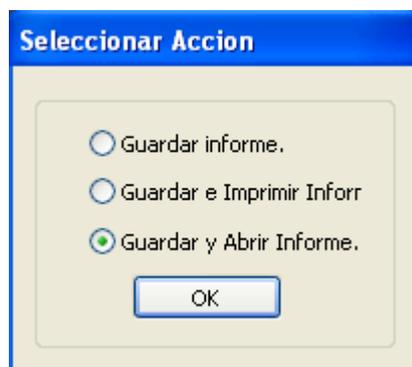


Figura 72. Como guardar el informe termográfico.



2.6. ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA REALIZAR UN DIAGNOSTICO TERMOGRAFICO

2.6.1. Emisividad

La emisividad es una propiedad de los materiales que describe la eficiencia con que un objeto irradia o emite calor. Cuando más caliente es un objeto, más energía infrarroja emitirá.

La emisividad se expresa como un valor que varía entre 0 y 1:

- Los metales brillantes tienen baja emisividad.
- Los materiales no metálicos o los metales pintados o muy oxidados tienen mayor emisividad.

La mayoría de las superficies orgánicas, pintadas u oxidadas tienen valores de emisividad cercanos a 0,95. Si se van a realizar inspecciones cualitativas, se deja la emisividad fijada entre 0,9 y 1. Si se necesitan medir valores reales de temperatura, se fija el valor de emisividad según la del material del objeto que se vaya a medir. Si lo que se necesita es precisión, se tendrá que buscar el valor de la emisividad del material antes de tomar la medición (23).

2.6.1.1. Corrección de mediciones

Para mediciones precisas hace falta ajustar ambos valores: la emisividad y la compensación de temperatura reflejada. Por consiguiente, se deben seguir estos pasos:

- Evitar medir sobre superficies metálicas pulidas o brillantes; a menudo, las medidas no son fiables.
- Medir sobre superficies con alta emisividad, por ejemplo, metales no brillantes, pinturas o cinta aislante, o en superficies rugosas, siempre que se pueda.
- Evitar tocar superficies calientes o bajo tensión eléctrica.
- Usar las tablas de emisividad principalmente como guía.
- Usar de forma adecuada el valor de temperatura ambiente o reflejada tras evaluar el ambiente y la temperatura de los objetos reflejados.

2.6.1.2. Valores de emisividad

Los valores de emisividad para muchos materiales habituales se pueden encontrar en el Cuadro 2, los cuales están organizados de menor a mayor valor.

Cuadro 2 Valores de emisividad de materiales comunes

Material de Temperatura (°C)	Emisividad
Cobre, pulido, recocido	0,01
Oro, Pulido	0,02
Latón, pulido	0,03
Aluminio, Pulido	0,05
Estaño, bruñido	0,05
Níquel, en hierro fundido	0,05
Níquel, puro pulido	0,05
Tungsteno	0,05
Aluminio, superficie rugosa	0,07
Cobre, bruñido comercial	0,07
Platino, puro, pulido	0,08
Plomo, brillante	0,08
Bronce, Pulido	0,1
Cromo, pulido	0,1
Mercurio, puro	0,1
Latón, pulido	0,1
Acero, plancha, niquelado	0,11
Hierro, brillante, grabado	0,16
Zinc, plancha	0,2
Zinc, feuille	0,2
Hierro fundido, Pulido	0,21
Latón, mate, deslustrado	0,22
Hierro, plancha galvanizada, bruñida	0,23
Acero, laminado fresco	0,24
Aluminio, fuertemente oxidado	0,25
Acero, galvanizado	0,28
Hierro, plancha, galvanizado, oxidado	0,28
Hierro, forjado, pulido	0,28
Plomo, gris	0,28
Pintura, acabado de plata	0,31
Hormigón	0,54
Bronce, poroso, rugoso	0,55
Acero, plancha, laminada	0,56
Plomo, oxidado	0,63
Cobre, oxidado	0,65
Acero, rojo herrumbrado	0,69
Hierro, oxidado	0,74
Hierro, laminado en caliente	0,77
Asbesto, tela	0,78

Material de Temperatura (°C)	Emisividad
Tela de amianto	0,78
Carbón, purificado	0,8
Nieve	0,8
Hierro fundido, fundición rugosa	0,81
Laca líquida, negra, brillante	0,82
Ladrillo, común	0,85
Ladrillo, glaseado, rugoso	0,85
Barniz, negro, brillante	0,87
Barniz, blanco	0,87
Laca sólida, blanca	0,87
Laca sólida, negra, brillante	0,87
Cobre, oxidado a negro	0,88
Acero, fuertemente oxidado	0,88
Esmalte	0,9
Papel, negro, brillante	0,9
Papel, blanco	0,9
Arcilla, cocida	0,91
Laca líquida, negra, mate	0,91
Cristal	0,92
Papel alquitranado	0,92
Porcelana, glaseada	0,92
Barniz, Bakelite	0,93
Cuarzo	0,93
Formica	0,93
Goma	0,93
Laca, baquelita	0,93
Plomo, rojo, en polvo	0,93
Suelo congelado	0,93
Asbesto, papel	0,94
Ladrillo, refractario, rugoso	0,94
Papel de amianto	0,94
Papel, negro, mate	0,94
Pintura, óleo, promedio	0,94
Pintura, sintética normal	0,94
Cinta eléctrica, plástico negro	0,95
Acero, superficie rugosa	0,96
Asbesto, pizarra	0,96
Asbesto, plancha	0,96
Carbón vegetal, en polvo	0,96
Cristal, esmerilado	0,96
Hollín	0,96
Humo de color negro	0,96

Material de Temperatura (°C)	Emisividad
Placa de amianto	0,96
Pizarra de amianto	0,96
Vidrio, escarchado	0,96
Barniz, negro, mate	0,97
Hielo	0,97
Laca sólida, negra, mate	0,97
Agua	0,98

Datos consultados en la referencia (1)

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

2.6.1.3. Efectos de la emisividad

“Si un material de alta emisividad y otro de baja emisividad se colocaran juntos en el interior de un horno y se calentaran exactamente a la misma temperatura, el material de baja emisividad aparecería al ojo mucho más tenue. Esto es debido a la diferencia de emisividades de los materiales, provocando radiaciones a distintos niveles, haciendo que el material de baja emisividad parezca más frío que el de alta emisividad, aunque ambos estén a la misma temperatura. La cámara térmica lo vería igual que el ojo humano y produce un error en la medida de temperatura. La temperatura de un objeto no puede determinarse midiendo la energía infrarroja que emite, también debe conocerse el valor de emisividad del objeto” (24).

La emisividad de un objeto puede medirse de las siguientes formas (24):

- Consultar manuales de los fabricantes (asegurarse que han sido evaluados a la longitud de onda de trabajo de la cámara térmica, ya que la emisividad puede variar con la longitud de onda).
- Evaluar la emisividad del objeto mediante un método de laboratorio.

Hay dos métodos principales para solucionar el problema de la emisividad:

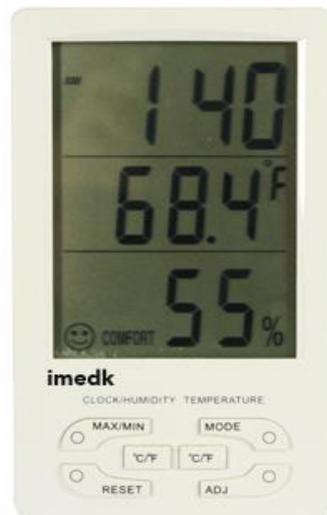
- Corregir matemáticamente el valor de temperatura medido. Generalmente se realiza en la señal del procesador de la Cámara Térmica.
- Podría pintarse la superficie de un objeto de baja emisividad con un recubrimiento de emisividad alta y constante. Esto permite elevar el valor de emisividad, pero no siempre es posible.

Cuando se realizan las inspecciones termográficas, los fallos generalmente se identifican por comparación de temperatura de los componentes similares en las mismas condiciones. Es una alternativa muy precisa para predecir la emisividad de cada componente y obtener unos valores de temperatura absolutas (24).

2.6.2. El termo higrómetro

Es un instrumento electrónico que en su versión más básica mide y muestra la temperatura (T) y humedad relativa (HR). Está compuesto por una carcasa, usualmente de plástico, en cuyo interior se encuentra alojada una tarjeta electrónica que procesa las señales provenientes de los sensores y nos permite la visualización de los valores de temperatura y humedad relativa en una pantalla de cristal líquido (LCD) (ver la Figura 73).

Figura 73. Termo higrómetro



2.6.2.1. Especificaciones técnicas.

- **El rango:** Suele definirse indicando el límite inferior y superior. Expresa el conjunto de valores para los cuales el equipo proporciona una lectura fiable.
- **La resolución:** Es el incremento más pequeño (dígito menos significativo). Un medidor con un rango de 0,0 a 50,0 °C y una resolución de 0,1, proporciona valores fiables en el intervalo de 0 a 50 con variaciones mínimas de 0,1 °C
- **La exactitud:** Es la diferencia entre el valor medido y el valor real, muestra la capacidad de instrumento de acercarse al valor de la magnitud real (28).

2.6.3. Distancia mínima de enfoque para hacer una termografía

A una distancia focal mínima de **15 centímetros** puede medir un blanco definido ligeramente más pequeño que **7 milímetros** o $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Siempre que se pueda, se debe acercarse a la menor distancia segura posible para poder llenar la imagen con el objeto que se desea medir.

Ser prudente cuando se este próximo a equipos eléctricos y trabajar de forma segura:

- Se debe cumplir las normas locales de seguridad.
- No trabajar solo.
- Cuando corresponda, trabajar con un acompañante cualificado cuya tarea sea:
 - Abrir y cerrar los cuadros eléctricos
 - Tomar lecturas de carga
 - Estar atento al que está realizando la inspección
- Tener en cuenta que todas las tensiones son potencialmente peligrosas.
- Se debe usar equipo de protección personal apropiado.
- No invadir el espacio interior de un armario eléctrico abierto.
- Minimizar el tiempo que se pasa en zonas donde se puedan formar arcos eléctricos.

Al usar la cámara térmica se deben tomar las siguientes precauciones adicionales:

- Planificar todas las inspecciones.
- Estar siempre atento al entorno.
- Tener cuidado con los riesgos asociados entorno (tropezos, etc.).
- No caminar mientras se mira la imagen en la cámara.
- Usar ropa muy visible y reflectante en la parte superior del cuerpo.
- Si la situación planeada cambia, se debe detener, salir y volver a planificar.
- Cumplir con todas las prácticas de seguridad locales y de la compañía.

2.6.4. Condiciones para la inspección

Asegurarse de tener las mejores condiciones posibles para la inspección:

- Tener una visión directa. Se deben abrir las puertas de los armarios cuando sea posible.
- Recordar 'no se puede ver a través de las puertas'.
- Si no se puede abrir la puerta o tener una visión directa, puede pasarse por alto ciertos problemas, y los que si se encuentran pueden parecer poco calientes. Sin embargo, pueden ser graves, así que no se deben ignorar.
- Anotar incluso pequeñas diferencias de temperatura si las condiciones sugieren que pueden ser importantes.
- Comprender las condiciones presentes y futuras de carga.
- Se debe inspeccionar con la mayor carga posible. Si hay viento o un flujo de aire sobre un componente, se enfriará por convección y tal vez no represente su temperatura real. Además, se debe asegurar de:
- Entender el equipo que se está inspeccionando.

- Inspeccionar tan pronto como sea seguro tras abrir las puertas de los armarios.
- Se deben comparar las fases o equipos similares.
- Buscar superficies de alta emisividad cerca de una fuente de calor. Tener en cuenta el sol y el viento.

2.7. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

La cámara térmica Thermopro TP8 es una valiosa herramienta en diversas situaciones de mantenimiento:

El **mantenimiento predictivo**, involucra equipos de prueba para garantizar el funcionamiento adecuado de un equipo o sistema a lo largo del tiempo. Esto incluye una serie de instrumentos para examinar las características operativas del equipo o sistema, como son vibraciones, temperatura y parámetros eléctricos.

3. MEDICIONES Y ANÁLISIS TERMOGRÁFICO CON LA CÁMARA TÉRMICA THERMOPRO TP8

La cámara térmica Thermopro TP8 genera una señal relacionada a la energía radiactiva recibida, la cual, si se considera el sistema observado totalmente aislado del medio ambiente, depende de su temperatura superficial (suponiendo el cuerpo opaco). En el caso más general esta dependencia puede ser una función complicada de la longitud de onda, de la temperatura, de la dirección con la cual se enfoca. Generalmente se considera que se puede definir una emisividad media independiente de la longitud de onda (cuerpo negro y cuerpo no negro) (27).

A continuación, se muestra un diagnóstico termográfico realizado a diferentes elementos eléctricos conectados al circuito 1 de Calarcá de la empresa de energía del Quindío, utilizando la cámara termográfica Thermopro TP8 y analizando cada imagen con el programa Guide IrAnalyser. Para ello se usó una emisividad de 0,95 y se tuvo en cuenta los siguientes niveles de criticidad ver Tabla 1.

Tabla 1. Criterios NETA (National Electric Testing Association).

NIVEL	TEMPRATURA MEDIDA	CALIFICACION	ACCION
1	De 1 °C a 10 °C O/A. De 1 °C a 3 °C O/S	Posible Deficiencia	Se requiere más información
2	De 11 °C a 20 °C O/A De 4 °C a 15 °C O/S	Probable Deficiencia	Reparar en la próxima parada disponible
3	De 21 °C a 40 °C O/A >15 °C O/S	Deficiencia	Reparar tan pronto como sea posible
4	>40 °C O/A >15 °C O/S	Deficiencia Mayor	Reparar inmediatamente

O/A: Over Ambient (Sobre Temperatura Ambiente)

O/S: Over Similar (Sobre Temperatura de un cuerpo similar en condición normal).

Esta tabla se toma como referencia para la clasificación de las fallas.

3.1. CORTACIRCUITO DEL SECCIONADOR S-268.

Este seccionador está ubicado en Calarcá en la carrera 24 con calle 29 su capacidad es de 200 A, funciona como seccionador manual para despeje de fallas y no como seccionador de protección con fusible.

Las condiciones de utilización de estos cortacircuitos son a una temperatura ambiente de 27 °C y una humedad relativa del 40 %.

En la inspección realizada se encontró que el cortacircuito de la fase T se encuentra con una temperatura en su conector inferior y superior de 56,8 °C comparado con el cortacircuito de la fase S el cual tiene una temperatura de 24 °C. Esto quiere decir que se está presentado un punto caliente en el cortacircuito de la fase T, que puede ser por conexiones flojas entre los conectores y el bajante de media tensión que está conectado.

La criticidad del problema da para una calificación deficiente ya que entre los 2 cortacircuitos aparece un delta de temperatura de 32,9 °C. Se debe reparar esta anomalía tan pronto como sea posible (ver la Tabla 1).

En la Figura 74 se puede observar el termograma del diagnóstico realizado al seccionador S-268.

Figura 74. Termograma cortacircuito del seccionador S-268

LUGAR: Calarcá Cra 24 CII 29.

FECHA: 27/06/2016 **HORA:** 06:23:32 p.m.,

CIRCUITO: I Calarcá.

Emisividad: 0.95

EQUIPO INSPECCIONADO: Seccionador S-268 Cortacircuito.

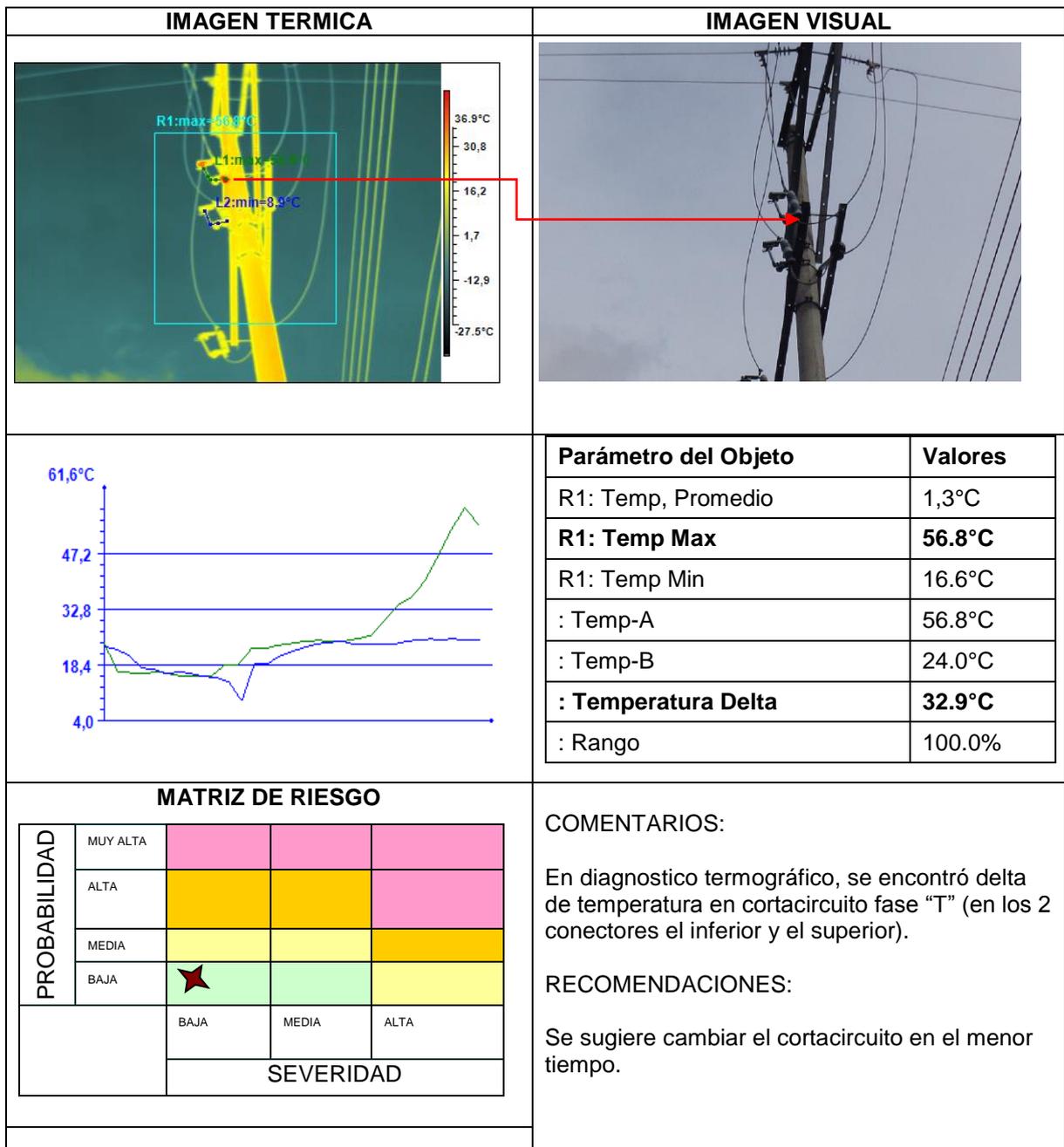
Ambiente: 28.6°C

NIVEL DE TENSION: 2 Media Tensión.

Humedad %: 40%

CRITICIDAD: 3 Deficiencia.

Imagen: IR006454



3.2. CORTACIRCUITO DEL SECCIONADOR S-305

Este seccionador está ubicado en Calarcá en el barrio Llanitos de Guárala en la manzana 13 su capacidad es de 100 A, actualmente está calibrado con un fusible de 15 A, que es el apropiado para la carga que maneja.

Las condiciones de utilización de estos cortacircuitos son a una temperatura ambiente de 27 °C y una humedad relativa del 62 %.

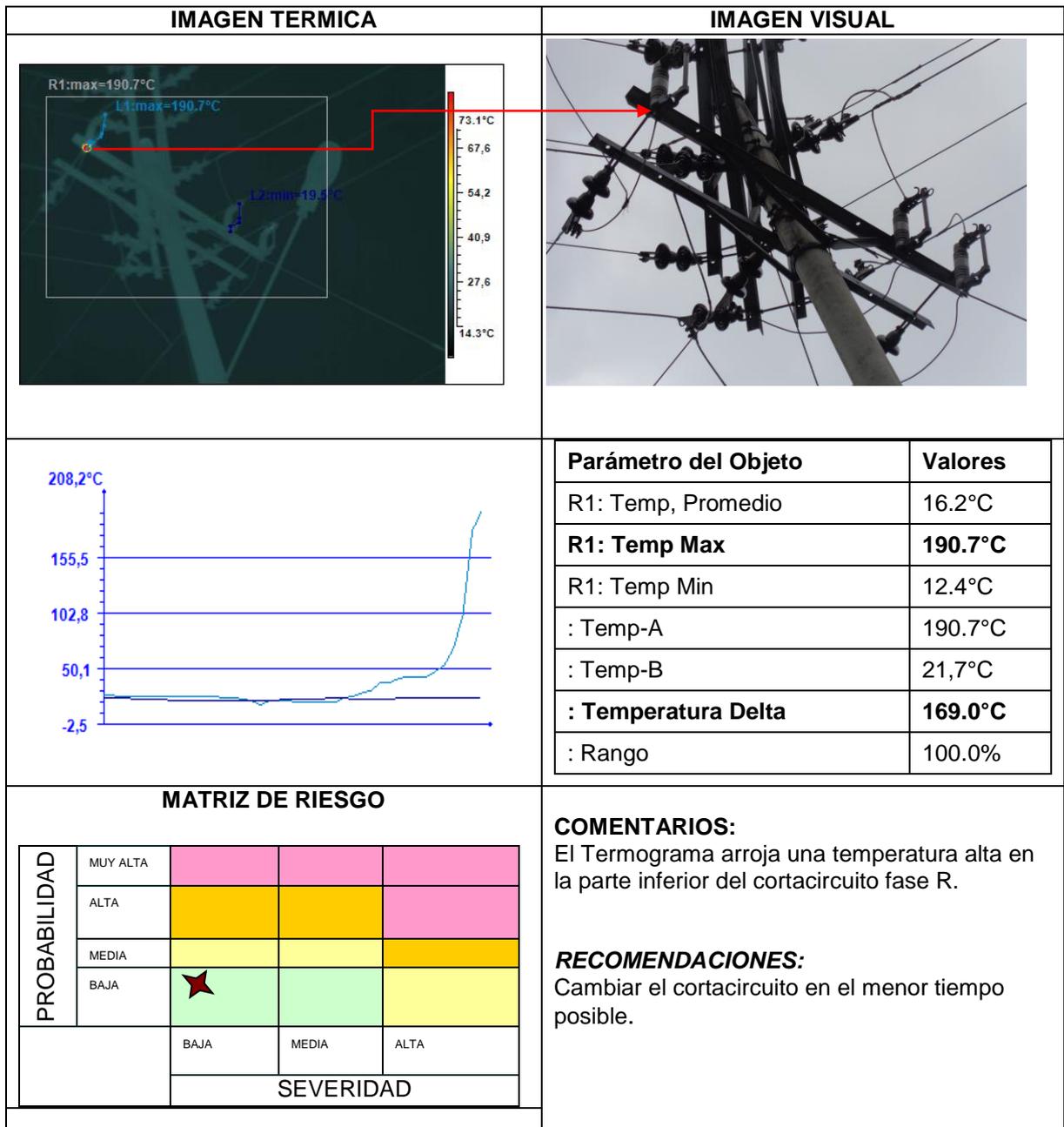
En la inspección realizada se encontró que el cortacircuito de la fase R se encuentra con una temperatura en su conector inferior de 190,7 °C comparado con el cortacircuito de la fase S el cual tiene una temperatura de 21,7 °C. Esto quiere decir que se está presentado un punto caliente en el cortacircuito de la fase R, que puede ser por conexión floja entre el conector y el bajante de media tensión que está conectado a él o por sulfato en el mismo. La criticidad del problema da para una calificación de deficiencia mayor ya que entre los 2 cortacircuitos aparece un delta de temperatura de 169 °C. Se debe reparar esta anomalía de manera inmediata (ver la Tabla 1).

En la Figura 75 se puede observar el termograma del diagnóstico realizado al seccionador S-305.

Figura 75. Termograma cortacircuito del seccionador S-305

LUGAR: Calarcá entrada a llanitos de Guárala.
CIRCUITO: I Calarcá.
EQUIPO INSPECCIONADO: Seccionador S-305.
NIVEL DE TENSION: 2 Media Tensión.
CRITICIDAD: 4 deficiencia mayor.

FECHA: 07/07/2016 **HORA:** 12:06:15 p.m.,
Emisividad: 0.95
Ambiente: 22.2°C
Humedad %: 62%
Imagen: IR006565



3.3. BORNES EN BAJA TENSIÓN DEL TRANSFORMADOR CONVENCIONAL.

Este transformador está ubicado en Calarcá en el barrio Santander carrera 31 con calle 37, su capacidad es de 112,5 kVA con niveles de tensión de 13200/208-120 V, Magnetrón. Para el diagnóstico se usó una emisividad de 0,95 la temperatura ambiente fue de 24,8 °C y una humedad relativa del 59%.

En la inspección realizada se encontró que el borne de la fase (X) de baja tensión del transformador, se encuentra a una temperatura de 54,3 °C, comparado con el borne de la fase (Y) el cual tiene una temperatura de 34,8 °C, se concluye que el delta de temperatura entre los 2 bornes es de 19,5 °C. Esto quiere decir que se está presentado un punto caliente en el borne de la fase (X), el cual puede ser por conexión floja o por desgaste del mismo. La criticidad del problema, da para una calificación de deficiencia. Se debe reparar esta anomalía tan pronto como sea posible (ver la Tabla 1).

En la Figura 76 se puede observar el termograma del diagnóstico realizado a los bornes de baja tensión del transformador convencional CAUQ 0184.

Figura 76. Termograma de los bornes en baja tensión del transformador convencional CAUQ 0184.

LUGAR: Calarcá Brr Santander Cra 31 Cll 37

FECHA: 02/06/2016

HORA: 13:09:38

CIRCUITO: I Calarcá.

Emisividad: 0.95

EQUIPO INSPECCIONADO: Transformador CAUQ0184

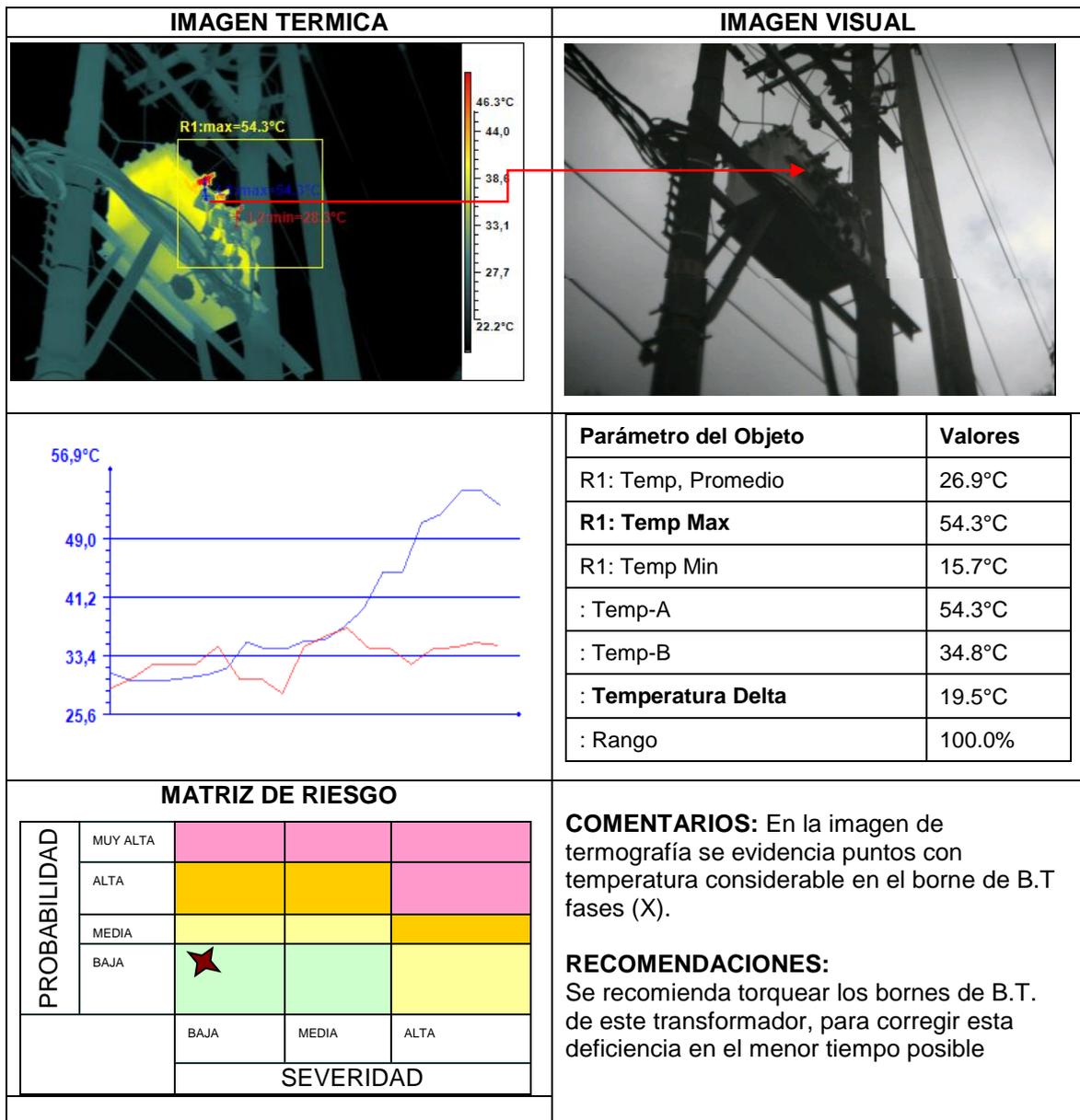
Ambiente: 24.8°C

NIVEL DE TENSION: 1Baja Tensión.

Humedad %: 59%

CRITICIDAD: 3 Deficiencia

Imagen: IR006579



3.4. CONECTOR DBH EN RED AÉREA DE BAJA TENSIÓN DEL TRANSFORMADOR

Este transformador está ubicado en Calarcá en la calle 33 # 19-12, su capacidad es de 112,5 kVA con niveles de tensión de 13200/208-120 V, Magnetrón. Para el diagnóstico se usó una emisividad de 0,95, la temperatura ambiente fue de 31,0 °C y una humedad relativa del 40%.

En la inspección realizada se encontró que el conector DBH de la fase (Z) de baja tensión, se encuentra a una temperatura de 68,4 °C, comparado con el conector de la fase (X) el cual tiene una temperatura de 26,6 °C, se concluye que el delta de temperatura entre los 2 conectores es de 41,8 °C. Esto quiere decir que se está presentado un punto caliente en el conector DBH de la fase (Z), el cual puede ser por conexión floja o por desgaste del mismo. La criticidad del problema, da para una calificación de deficiencia. Se debe reparar esta anomalía tan pronto como sea posible, ver la Tabla 1.

En la Figura 77 se puede observar el termograma del diagnóstico realizado a los conectores DBH de baja tensión del transformador convencional CAUQ 0031.

Figura 77. Termograma del conector DBH en red aérea de baja tensión del transformador CAUQ 0031

LUGAR: Calarcá Cll 33 # 19 – 12.

CIRCUITO: Circuito I Calarcá.

EQUIPO INSPECCIONADO: Transformador CAUQ0031

NIVEL DE TENSION: 2

CRITICIDAD: 3 Deficiencia.

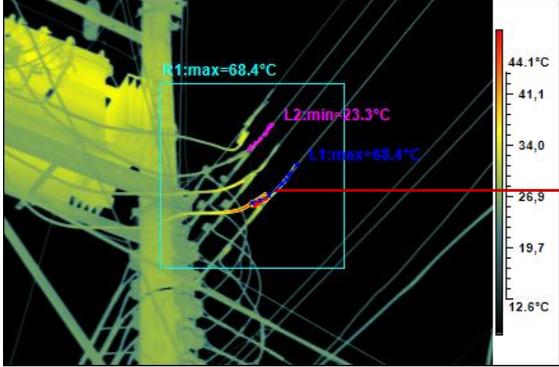
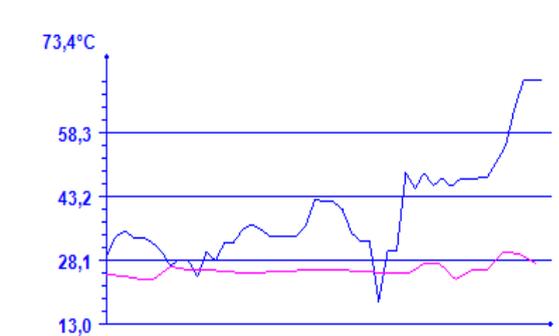
FECHA:15/06/2016 HORA:16:55:21 p.m.,

Emisividad: 0.95

Ambiente: 31.0°C

Humedad %: 40%

Imagen: /R006452

IMAGEN TERMICA		IMAGEN VISUAL																												
																														
		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Parámetro del Objeto</th> <th>Valores</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R1: Temp, Promedio</td> <td>7.3°C</td> </tr> <tr> <td>R1: Temp Max</td> <td>68.4°C</td> </tr> <tr> <td>R1: Temp Min</td> <td>3.8°C</td> </tr> <tr> <td>: Temp-A</td> <td>68.4°C</td> </tr> <tr> <td>: Temp-B</td> <td>26.6°C</td> </tr> <tr> <td>: Temperatura Delta</td> <td>41.8°C</td> </tr> <tr> <td>: Rango</td> <td>100.0%</td> </tr> </tbody> </table>		Parámetro del Objeto	Valores	R1: Temp, Promedio	7.3°C	R1: Temp Max	68.4°C	R1: Temp Min	3.8°C	: Temp-A	68.4°C	: Temp-B	26.6°C	: Temperatura Delta	41.8°C	: Rango	100.0%											
Parámetro del Objeto	Valores																													
R1: Temp, Promedio	7.3°C																													
R1: Temp Max	68.4°C																													
R1: Temp Min	3.8°C																													
: Temp-A	68.4°C																													
: Temp-B	26.6°C																													
: Temperatura Delta	41.8°C																													
: Rango	100.0%																													
<p>MATRIZ DE RIESGO</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td rowspan="4" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">PROBABILIDAD</td> <td>MUY ALTA</td> <td style="background-color: #ffcccc;"></td> <td style="background-color: #ffcccc;"></td> <td style="background-color: #ffcccc;"></td> </tr> <tr> <td>ALTA</td> <td style="background-color: #ffffcc;"></td> <td style="background-color: #ffffcc;"></td> <td style="background-color: #ffcccc;"></td> </tr> <tr> <td>MEDIA</td> <td style="background-color: #ffffcc;"></td> <td style="background-color: #ffffcc;"></td> <td style="background-color: #ffffcc;"></td> </tr> <tr> <td>BAJA</td> <td style="background-color: #ccffcc; color: red; font-weight: bold;">★</td> <td style="background-color: #ccffcc;"></td> <td style="background-color: #ffffcc;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>BAJA</td> <td>MEDIA</td> <td>ALTA</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">SEVERIDAD</td> </tr> </table>		PROBABILIDAD	MUY ALTA				ALTA				MEDIA				BAJA	★					BAJA	MEDIA	ALTA	SEVERIDAD					<p>COMENTARIOS: Al hacer inspección de termografía en transformador se observó punto caliente en el DBH de la cuarta línea de B.T.</p> <p>RECOMENDACIONES: El equipo de termografía sugiere el cambio de este DBH.</p>	
PROBABILIDAD	MUY ALTA																													
	ALTA																													
	MEDIA																													
	BAJA	★																												
		BAJA	MEDIA	ALTA																										
SEVERIDAD																														

3.5. BORNE DE OJO EN BAJA TENSIÓN DE UN TRANSFORMADOR PAD MOUNTED SUBTERRÁNEO.

Este transformador está ubicado en Calarcá en la calle 40 # 28-08, su capacidad es de 112,5 kVA con niveles de tensión de 13200/214-115 V. Para el diagnóstico se usó una emisividad de 0,95, la temperatura ambiente fue de 30,3 °C y una humedad relativa del 51%.

En la inspección realizada se encontró que el borne de ojo de la fase (X) de baja tensión, se encuentra a una temperatura de 109,9 °C, comparado con el borne de la fase (Z) el cual tiene una temperatura de 36,0 °C, se concluye que el delta de temperatura entre los 2 bornes es de 73,8 °C. Esto quiere decir que se está presentado un punto caliente en el borne de ojo de la fase (X), el cual puede ser por conexión floja o por desgaste del mismo.

La criticidad del problema, da para una calificación de deficiencia mayor. Dicha anomalía se debe reparar de manera inmediata, ver la Tabla 1.

En la Figura 78 se puede observar el termograma del diagnóstico realizado a los bornes de ojo de la red de baja tensión del transformador pad mounted CAUQ 0001

Figura 78. Termograma borne de ojo en baja tensión de un transformador pad mounted subterráneo CAUQ 0001

LUGAR: Calarcá CLL 40 # 28 – 08.

FECHA:23/06/2016 **HORA:**06:04:37 p.m.,

CIRCUITO: I Calarcá I

Emisividad: 0.95

EQUIPO INSPECCIONADO: Transformador CAUQ0001

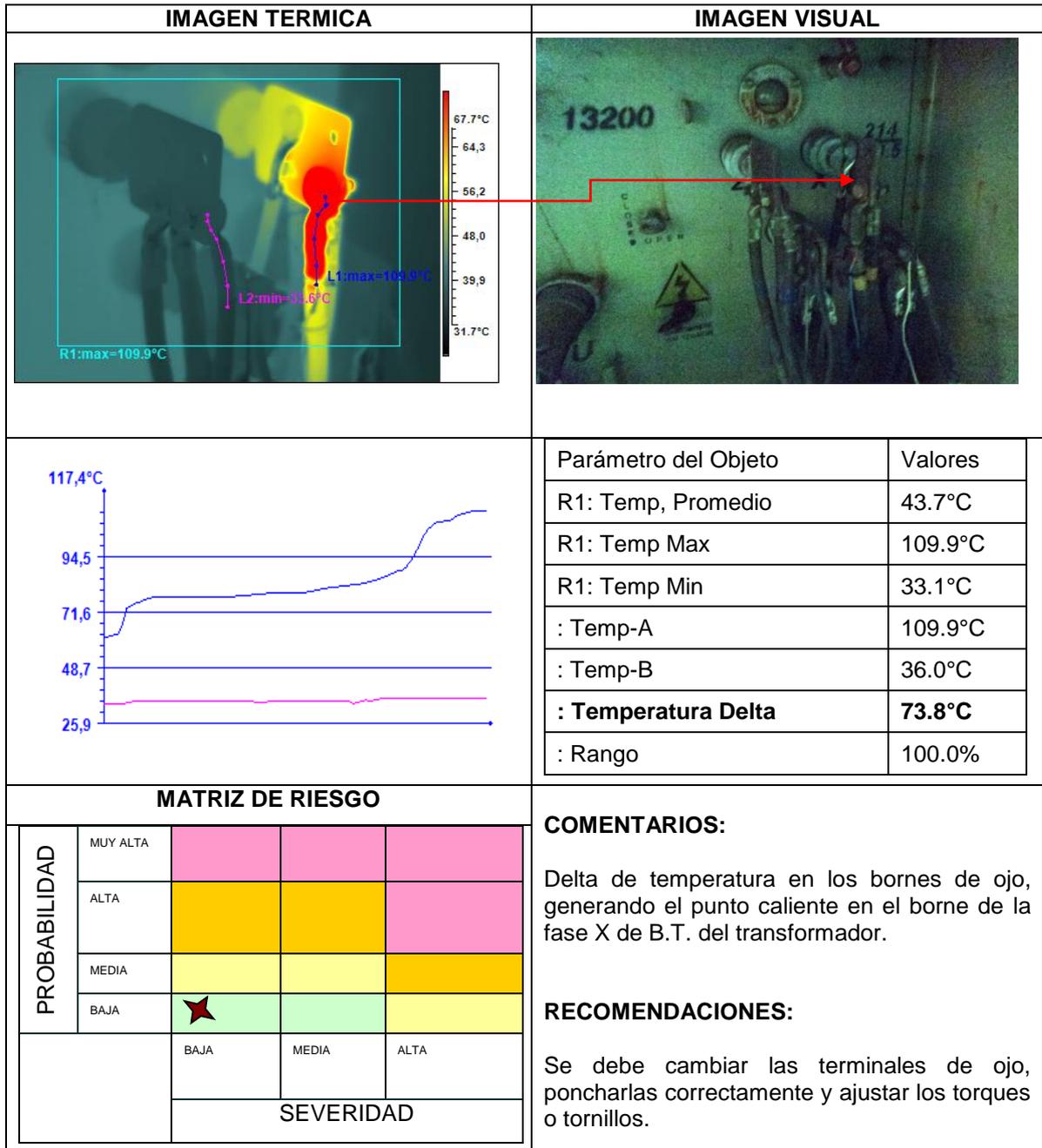
Ambiente: 30.3°C

NIVEL DE TENSION: 1 Baja Tensión.

Humedad %: 51%

CRITICIDAD: 4 Deficiencia Mayor.

Imagen: /R006520



3.6. EMPALME EN RED DE BAJA TENSIÓN SUBTERRÁNEA

Esta recamara de distribución en baja tensión, está ubicada en Calarcá en la carrera 24 con calle 38. Para el diagnóstico se usó una emisividad de 0,95, la temperatura ambiente fue de 29,4 °C y una humedad relativa del 49%.

En la inspección realizada se encontró, que los empalmes de la fase (X y Y) de baja tensión presentan una temperatura de 57,6 °C, comparado con el empalme de la fase (Z) el cual tiene una temperatura de 32,6 °C, se concluye que el delta de temperatura entre los 2 empalmes es de 25 °C. Por esta razón se está presentado un punto caliente en los empalmes de la fase (X y Y), el cual puede ser por conexión floja, por desgaste del mismo o por la falta de un conector de compresión tipo DBH el cual es el adecuado para dichos empalmes. La criticidad del problema, da para una calificación de deficiencia. Dicha anomalía se debe reparar tan pronto como sea posible, ver la Tabla 1.

En la Figura 79 se puede observar el termograma del diagnóstico realizado en la recamara a los empalmes de la red de baja tensión.

Figura 79. Termograma empalme en red de baja tensión subterránea

LUGAR: Calarcá CRA 24 CLL 38.

FECHA:29/06/2016 **HORA:**05:12:15 p.m.,

CIRCUITO: I Calarcá.

Emisividad: 0.95

EQUIPO INSPECCIONADO: Recámara de M.T y B.T.

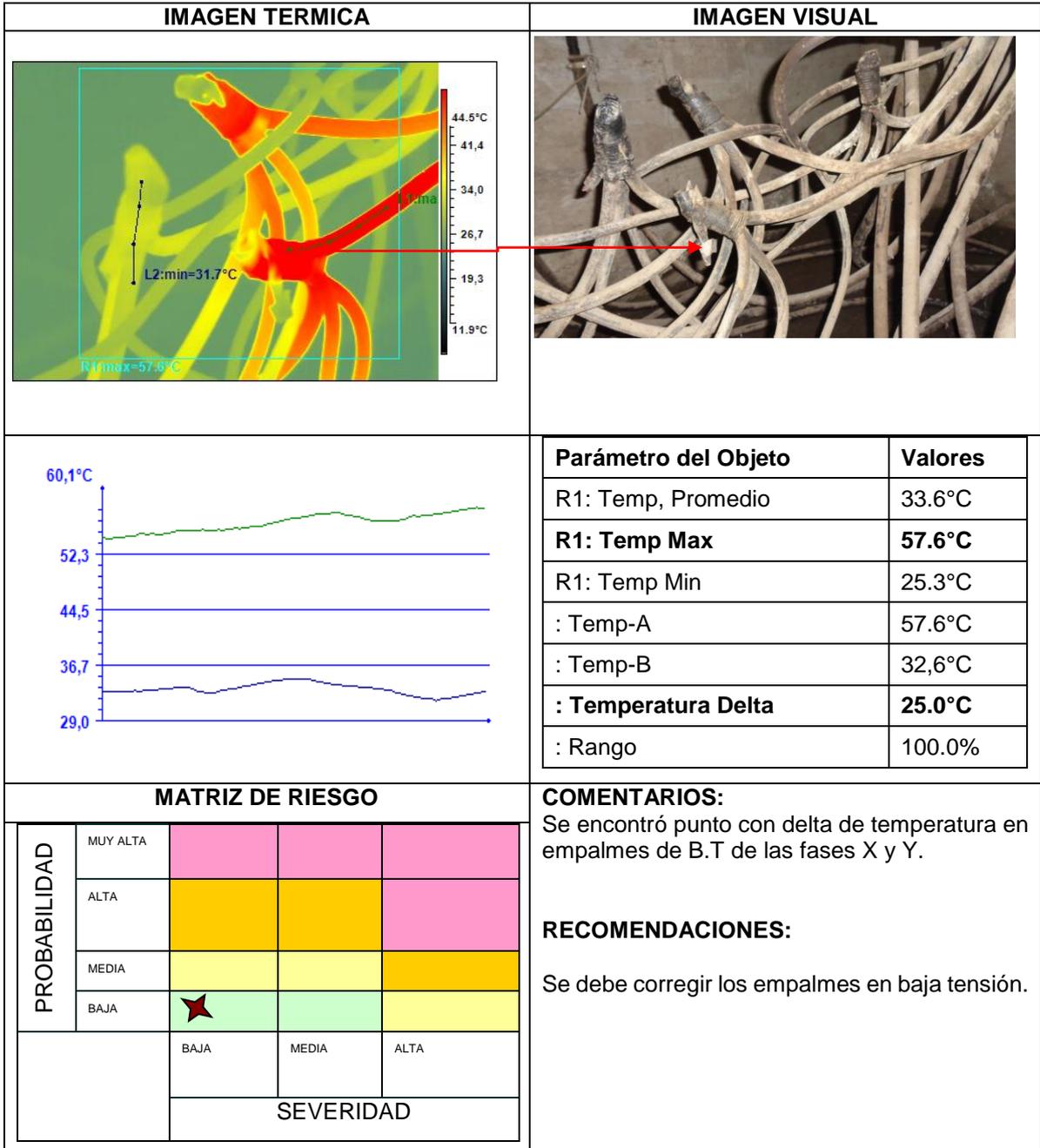
Ambiente: 29.4°C

NIVEL DE TENSION: 1 Baja Tensión.

Humedad %: 49%

CRITICIDAD: 3 Deficiencia.

Imagen: IR006539



3.7. DERIVACION DE ACOMETIDAS EN BAJA TENSION SUBTERRANEA

Recamara de distribución de acometidas en baja tensión, ubicada en Calarcá en la carrera 24 con calle 36 Teatro Quindío. Para el diagnóstico se usó una emisividad de 0,95, la temperatura ambiente fue de 26 °C y una humedad relativa del 55%.

En la inspección realizada se encontró, que el conector de la acometida del Teatro Quindío en la fase (R) presentan una temperatura de 78,2 °C, comparado con el conector de la fase (S) el cual tiene una temperatura de 38,0 °C, se concluye que el delta de temperatura entre los 2 conectores es de 40,2 °C. Por esta razón se está presentado un punto caliente en el conector de la acometida en la fase (R), el cual puede ser por conexión floja, por desgaste del mismo o por la falta de un conector de compresión tipo DBH el cual es el adecuado para dicho empalme y no el que actualmente tiene que es un conector de tornillo partido. Además, la red de baja tensión está en aluminio y en condiciones regulares.

La criticidad del problema, da para una calificación de deficiencia mayor. Dicha anomalía se debe reparar de manera inmediata, ver la Tabla 1.

En la Figura 80 se puede observar el termograma del diagnóstico realizado en la recamara a los empalmes de la red de baja tensión.

Figura 80. Termograma derivación de acometidas en baja tensión subterránea

LUGAR: Calarcá CLL 36 CRA 24 Teatro Quindío.

FECHA: 19/06/2016 **HORA:** 13:41:29 p.m.,

CIRCUITO: I Calarcá.

Emisividad: 0.95

EQUIPO INSPECCIONADO: Transformador CAUQ0022 Red B.T.

Ambiente: 26.0°C

NIVEL DE TENSION: 1 Baja Tensión.

Humedad %: 55%

CRITICIDAD: 4 Deficiencia Mayor.

Imagen: IR006532

IMAGEN TERMICA		IMAGEN VISUAL																												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parámetro del Objeto</th> <th>Valores</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R1: Temp, Promedio</td> <td>34.8°C</td> </tr> <tr> <td>R1: Temp Max</td> <td>78.2°C</td> </tr> <tr> <td>R1: Temp Min</td> <td>26.8°C</td> </tr> <tr> <td>: Temp-A</td> <td>78.2°C</td> </tr> <tr> <td>: Temp-B</td> <td>38.0°C</td> </tr> <tr> <td>: Temperatura Delta</td> <td>40.2°C</td> </tr> <tr> <td>: Rango</td> <td>100.0%</td> </tr> </tbody> </table>		Parámetro del Objeto	Valores	R1: Temp, Promedio	34.8°C	R1: Temp Max	78.2°C	R1: Temp Min	26.8°C	: Temp-A	78.2°C	: Temp-B	38.0°C	: Temperatura Delta	40.2°C	: Rango	100.0%											
Parámetro del Objeto	Valores																													
R1: Temp, Promedio	34.8°C																													
R1: Temp Max	78.2°C																													
R1: Temp Min	26.8°C																													
: Temp-A	78.2°C																													
: Temp-B	38.0°C																													
: Temperatura Delta	40.2°C																													
: Rango	100.0%																													
<p align="center">MATRIZ DE RIESGO</p> <table border="1"> <tr> <td rowspan="4">PROBABILIDAD</td> <td>MUY ALTA</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ALTA</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MEDIA</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>BAJA</td> <td style="text-align: center;">★</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>BAJA</td> <td>MEDIA</td> <td>ALTA</td> </tr> <tr> <td align="center" colspan="5">SEVERIDAD</td> </tr> </table>		PROBABILIDAD	MUY ALTA				ALTA				MEDIA				BAJA	★					BAJA	MEDIA	ALTA	SEVERIDAD					<p>COMENTARIOS: Delta de temperatura alta en la red de B.T. Y conectores.</p> <p>RECOMENDACIONES: Se debe reemplazar el tendido de B.T. Que está en aluminio aislado por cable de cobre THNN en el menor tiempo posible.</p>	
PROBABILIDAD	MUY ALTA																													
	ALTA																													
	MEDIA																													
	BAJA	★																												
		BAJA	MEDIA	ALTA																										
SEVERIDAD																														

4. CONCLUSIONES

- La termografía es muy importante, porque ayuda a detectar puntos calientes que pueden generar averías en instalaciones eléctricas y mecánicas. Por consiguiente, gracias a la detección de anomalías en una fase temprana, es posible evitar interrupciones en la producción y ahorrar dinero.
- El mantenimiento predictivo permite diagnosticar el buen o mal funcionamiento de los elementos eléctricos conectados a la red de energía y así poder tomar las medidas de corrección pertinentes.
- A la hora de hacer un análisis termográfico, la emisividad y la reflectividad, son parámetros muy importantes para hacer una buena lectura de las imágenes.
- Se debe conocer muy bien el objeto que va hacer inspeccionado, ya que dependiendo de sus características se pueden obtener resultados positivos o negativos del estado en que se encuentra.
- Con los diagnósticos realizados con la cámara térmica THERMOPRO TP8, se detectaron problemas de recalentamiento en los diferentes elementos eléctricos, lo cual indica un funcionamiento inadecuado de los mismos.
- Cuando se realicen diagnósticos en instalaciones eléctricas se deben conocer las características de los conductores y tener en cuenta el tipo de aislamiento para saber la máxima temperatura que pueden soportar los conductores.
- Los seccionadores diagnosticados con la cámara termográfica, muestran niveles de temperatura altos, que indican que existe una gran probabilidad de que estos dejen de funcionar correctamente. Por lo cual se deben cambiar lo más pronto posible.
- Una sobrecarga y la conexión floja o desgastada en los bornes del transformador, conectores DBH y empalme de cables, generan en estos, niveles altos de temperatura que pueden ocasionar el deterioro de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Introducción a los principios de la termografía. [En línea] 2009. [Citado el: 25 de abril de 2016.] Disponible en internet: <[http://www.artecnics.com/httpdocs/Principios%20de%](http://www.artecnics.com/httpdocs/Principios%20de%20)>.
2. Guía de la termografía infrarroja. [En línea] 2011. [Citado el: 4 de septiembre de 2016.] Disponible en internet: <<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-la-Termografia-Infrarroja-fenercom-2011.pdf>>.
3. Bolómetro. [En línea] [Citado el: 1 de octubre de 2016.] Disponible en internet: <<http://www.astromia.com/glosario/bolometro.htm>>.
4. Efecto Compton. *Wikipedia*. [En línea] 29 de abril de 2016. [Citado el: 3 de mayo de 2016.] Disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Compton>.
5. Efecto fotoeléctrico. *Ojo Científico*. [En línea] [Citado el: 29 de abril de 2016.] Disponible en internet: <<http://www.ojocientifico.com/4619/que-es-el-efecto-fotoelectrico>>.
6. Efecto termoeléctrico. [En línea] 16 de julio de 2013. [Citado el: 2 de septiembre de 2016.] Disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_termoel%C3%A9ctrico>.
7. Emisividad. [En línea] 6 de septiembre de 2013. [Citado el: 2 de octubre de 2016.] Disponible en internet: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Emisividad>>.
8. Evaporígrafo. [En línea] 21 de octubre de 2010. [Citado el: 2 de septiembre de 2016.] Disponible en internet: <<http://www.wikiteka.com/apuntes/clima-22/>>.
9. Fotoconductor. [En línea] [Citado el: 2 de septiembre de 2016.] Disponible en internet: <<http://servicios.elpais.com/diccionarios/castellano/fotoconductor>>.
10. Fotón. [En línea] [Citado el: 2 de septiembre de 2016.] Disponible en internet: <<http://www.definicionabc.com/ciencia/foton.php>>.

11. **MARÍN NARANJO, Luis Diego.** ¿Qué es la Fotónica? [En línea] Laboratorio de Fotónica y Tecnología Láser. [Citado el: 3 de mayo de 2016.] Disponible en internet: <<http://www2.eie.ucr.ac.cr/~lmarin/docs/Fotonica.pdf>>.

12. Isotropía. [En línea] 12 de febrero de 2016. [Citado el: 3 de mayo de 2016.] Disponible en internet: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Isotrop%C3%ADa>>.

13. Refracción. [En línea] [Citado el: 2 de septiembre de 2016.] Disponible en internet: <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/OptGeometrica/reflex_Refrac/Refraccion.htm>.

14. Reflectancia. [En línea] Luis García, 24 de febrero de 2013. [Citado el: 2 de septiembre de 2016.] Disponible en internet: <<http://www.slideshare.net/oficinageomatica/reflectancia-y-reflectividad>>.

15. **MARTÍN BLAS, Teresa y SERRANO FERNÁNDEZ, Ana.** Primer principio de la Termodinámica. *Sistema Termodinámico*. [En línea] [Citado el: 1 de mayo de 2016.] Disponible en internet: <<http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/termo1p/sistema.html>>.

16. Termomultiplicador. [En línea] [Citado el: 2 de septiembre de 2016.] Disponible en internet: <<http://www.dicio.com.br/termomultiplicador/>>.

17. Transmitancia. [En línea] 29 de marzo de 2013. [Citado el: 2 de septiembre de 2016.] Disponible en internet: <es.wikipedia.org/wiki/Transmitancia>.

18. **RAYMOND A., Serway.** *FÍSICA*. Cuarta. México, D.F. : McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S. A. de C. V., 1997. Vol. II.

19. **RAYMOND A., Serway y JR, John W. Jewett.** *FÍSICA para ciencias e ingeniería con Física Moderna*. [ed.] Sergio R. CERVANTES GONZÁLEZ. [trad.] Víctor CAMPOS OLGUÍN. Séptima. s.l. : © D.R. 2009 por Cengage Learning Editores, S.A. de C.V., una Compañía de Cengage Learning, Inc., 2009. pág. 851. Vol. II. ISBN-13: 978-607-481-358-6.

20. Wikipedia. *Energía térmica*. [En línea] 4 de abril de 2014. [Citado el: 1 de mayo de 2016.] Disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_t%C3%A9rmica>.

21. **SÁNCHEZ ALDANA, Natalia y VÉLASQUEZ GÓMEZ, Juliana.** Imágenes por radiación infrarroja y termografía. [En línea] [Citado el: 2 de septiembre de 2016.] Disponible en internet: <http://web.usal.es/~lcal/termografia_documento.pdf>.

22. latermografía. *Termografía aplicada al mantenimiento predictivo de instalaciones y equipos.* [En línea] [Citado el: 1 de mayo de 2016.] Disponible en internet: <<http://www.latermografia.com/2011/la-emisividad>>.

23. Guía Básica a la Termografía. [En línea] 2004. [Citado el: 29 de abril de 2016.] Disponible en internet: <www.landinst.com>.

24. Radiación. *Termodinámica Básica y Aplicada.* [En línea] [Citado el: 27 de abril de 2016.] Disponible en internet: <<http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c13/Radiacion%20termica.pdf>>.

25. **Online, Academia.** *Historia de la cámara termográfica.* -- : <http://www.academiatesto.com.ar/cms/historia-de-la-camara-termografica>, --. --.

26. **WUHAN GUIDE INFRARED TECHNOLOGY CO., LTD.** THERMOPRO TP8S IR THERMAL CAMERA. Shucheng, Hongshan, China : s.n., 2007.

27. **Shiroma, Gabriel.** *Termohigrómetro digital: Definición.* -- : <http://www.solitecperu.com/tienda/termohigrometro-definicion>, 2014. --.

28. **CARMONA, Carlos, JIMENEZ, Carlos y MORA, José.** monografías.com. *Radiación térmica.* [En línea] julio de 2005. [Citado el: 27 de abril de 2016.] Disponible en internet: <<http://www.monografias.com/trabajos25/radiacion-termica/radiacion-termica.shtml>>.

29. **BALAGEAS, Daniel.** *Termografía Infrarroja: una técnica multifacética para la Evaluación No Destructiva (END).* Buenos Aires : IV Conferencia Panamericana de END, Octubre 2007.

30. **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2050.** Santafé de Bogotá, D.C. : Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 1998-11-25. págs. 1-1041. I.C.S.:29.020.00.

31. **TESTO.** *Termografía, guía de bolsillo.* -- : https://www.testo.com.ar/media/local_media/Gua_practica_termografia_ES.pdf, 2012. --.

32. CENTELSA. *CABLES DE ENERGÍA Y DE TELECOMUNICACIONES S.A.* [En línea] FELINUX LTDA. [Citado el: 9 de junio de 2016.] Disponible en internet: <http://issuu.com/felinux.ltda/docs/cables_para_media_tensi_n?e=3830121/2803524#search>.

33. MAGNETRON. *Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S.* [En línea] [Citado el: 9 de junio de 2016.] Disponible en internet: <http://magnetron.com.co/magnetron/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=10>.