

DIAGNÓSTICO TERMOGRÁFICO DE LA SUBESTACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA DEL EDIFICIO 1, BLOQUE B-BB, PISO 0-P0 DE LA UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA DE PEREIRA

DIANA CAROLINA CHICO SAAVEDRA
LILIANA LONDOÑO CASTILLO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
PEREIRA
JUNIO 2014

DIAGNÓSTICO TERMOGRÁFICO DE LA SUBESTACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA DEL EDIFICIO 1, BLOQUE B-BB, PISO 0-P0 DE LA UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA DE PEREIRA

DIANA CAROLINA CHICO SAAVEDRA
LILIANA LONDOÑO CASTILLO

Trabajo de grado
Para optar al título de
Tecnóloga 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
JUNIO 2014

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE TERMOGRAFÍA.....	19
1.1. EL ESPECTRO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....	19
1.2. ECUACIONES DE MAXWELL.....	22
1.3. RADIACIÓN TÉRMICA	23
1.3.1. Energía térmica.....	23
1.3.2. Métodos de transferencia de calor	23
1.4. CONCEPTO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA	26
1.4.1. Radiación de cuerpo negro (cuerpo ideal):	28
1.4.2. Radiación de un cuerpo no negro (cuerpo real):.....	29
1.5. CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN TÉRMICA	30
1.5.1. Velocidad de propagación en el vacío	30
1.5.2. Intensidad	30
1.5.3. Longitud de onda λ	31
1.5.4. Fase, polarización, coherencia y divergencia	31
1.6. TERMOGRAFÍA.....	31
1.6.1. La imagen térmica	32
1.6.2. Análisis de una imagen térmica	33
1.6.3. Compensación de la imagen térmica.....	33
1.7. CUALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL TERMÓGRAFO.....	34
2. CÁMARA TÉRMICA FLUKE TI32	35

2.1. FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA TÉRMICA FLUKE TI32	35
2.1.1. Componentes de la cámara TI32.....	36
2.1.2. Campo de visión (FOV).....	42
2.1.3. Campo de visión instantáneo (IFOV)	42
2.1.4. Características de las lentes	43
2.1.5. Beneficios de usar cámaras térmicas	44
2.2. CÓMO TOMAR UNA IMAGEN TÉRMICA	44
2.2.1. Cualidades de una buena imagen IR (Infra Roja)	46
2.2.2. Captura de una imagen.....	47
2.2.3. Reflectividad	47
2.2.4. Distancia mínima para enfoque	48
2.2.5. Condiciones para la inspección	49
2.3. EMISIVIDAD	49
2.3.1. Corrección de mediciones.....	50
2.3.2. Valores de Emisividad.....	50
2.3.3. Efectos de la Emisividad	53
2.4. MANTENIMIENTO PREDICTIVO	53
2.5. PAQUETE COMPUTACIONAL SMARTVIEW	54
2.5.1. Preferencias de configuración.....	54
2.5.2. Transferencia de imágenes al computador	56
2.5.3. Marcadores	59
2.5.4. Imagen dentro de imagen y alarmas de temperatura	60
2.5.5. Gráficas.....	61
2.5.6. Informe rápido.....	66

3. MEDICIONES Y ANÁLISIS TERMOGRÁFICO CON LA CÁMARA TÉRMICA FLUKE TI32 EN LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DEL EDIFICIO 1, BLOQUE B.70	
3.1. TRANSFORMADOR.....	70
3.1.1. Entradas del transformador.....	73
3.1.2. Salidas del transformador	75
3.1.3. Conductores de las salidas del transformador	77
3.1.4. Conductores de las entradas del transformador	80
3.2. TABLERO GENERAL DE PROTECCIONES.....	83
3.2.1. Totalizador general categoría A	85
3.2.2. Totalizador de alimentación alumbrado piso 2.....	88
3.2.3. Totalizador de alimentación tomas piso 2.....	91
3.2.4. Totalizador de alimentación bienestar	94
3.2.5. Totalizador de alimentación cafetería	97
4. CONCLUSIONES	100
5. RECOMENDACIONES.....	101
BIBLIOGRAFÍA.....	102

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. El espectro electromagnético.....	21
Figura 2. Aislantes	25
Figura 3. Convección natural	26
Figura 4. Reflexión, transmisión, absorción y emisión	27
Figura 5. Simulador de cuerpo negro.....	28
Figura 6. Imágenes de luz visible y térmica	32
Figura 7. Detección de radiación infrarroja con la cámara térmica Fluke TI32	35
Figura 8. Cámara térmica Fluke TI32	36
Figura 9. Lentes de la cámara térmica Fluke TI32.....	37
Figura 10. Tapa del lente de la cámara térmica Fluke TI32.....	37
Figura 11. Pantalla de la cámara térmica Fluke TI32.....	38
Figura 12. Electrónica de procesamiento.....	38
Figura 13. Controles de la cámara térmica Fluke TI32	39
Figura 14. Almacenamiento de datos cámara térmica Fluke TI32.....	39
Figura 15. Disparador de la cámara térmica Fluke TI32	39
Figura 16. Batería de la cámara térmica Fluke TI32	40
Figura 17. Base de la cámara térmica Fluke TI32	40
Figura 18. Lente teleobjetivo de la cámara térmica Fluke TI32	41
Figura 19. Conexión del lente teleobjetivo a la cámara térmica Fluke TI32.....	41
Figura 20. Ubicación de la imagen térmica	45
Figura 21. Enfoque y desenfoco de la imagen	45

Figura 22. Imagen Infrarroja	46
Figura 23. Reflectividad	48
Figura 24. Preferencias de configuración SmartView	55
Figura 25. Ajuste de archivos, idioma y unidades de temperatura.....	55
Figura 26. Formato de salida de los informes	56
Figura 27. Inicio del Software SmartView	57
Figura 28. Seleccionar imágenes.....	57
Figura 29. Editar imágenes.....	57
Figura 30. Nivel, ámbito y valor de temperatura	58
Figura 31. Paleta de colores	58
Figura 32. Control deslizante	59
Figura 33. Marcadores predeterminados	59
Figura 34. Marcadores personalizados.....	60
Figura 35. Propiedades de los marcadores	60
Figura 36. Imagen dentro de imagen	61
Figura 37. Menú desplegable alarma de color	61
Figura 38. Gráfica con marcadores de línea	62
Figura 39. Gráfica con marcadores de línea – perfil X y perfil Y	62
Figura 40. Gráfica con diagramas de barra	63
Figura 41. Gráfica de superficies 3D-IR.....	63
Figura 42. Imagen de luz visible e IR-Fusion.....	63
Figura 43. Anotaciones	64
Figura 44. Anotaciones de voz.....	64
Figura 45. Imágenes de referencia	65

Figura 46. Ficha de comentarios.....	65
Figura 47. Informe rápido.....	67
Figura 48. Configuración de informe rápido.....	67
Figura 49. Resumen de informe.....	68
Figura 50. Asistente de informes	68
Figura 51. Imágenes del informe	69
Figura 52. Plantillas de informes.....	69
Figura 53. Imagen térmica e imagen de luz visible del transformador	71
Figura 54. Gráfica 3D-IR e Histograma del transformador.....	72
Figura 55. Imagen térmica e imagen de luz visible de las entradas del transformador.....	73
Figura 56. Gráfica 3D-IR e Histograma de las entradas del transformador	74
Figura 57. Imagen térmica e imagen de luz visible de las salidas del transformador	76
Figura 58. Gráfica 3D-IR e Histograma de las salidas del transformador	76
Figura 59. Imagen térmica e imagen de luz visible de los conductores de las salidas del transformador.....	78
Figura 60. Gráfica 3D-IR e Histograma de los conductores de las salidas del transformador.....	79
Figura 61. Imagen térmica e imagen de luz visible de los conductores de las entradas del transformador.....	81
Figura 62. Gráfica 3D-IR e Histograma de los conductores de las entradas del transformador.....	82
Figura 63. Subestación de energía eléctrica del edificio 1, bloque B-BB, piso 0-P0	84
Figura 64. Totalizador general categoría A	85
Figura 65. Imagen térmica e imagen de luz visible del totalizador general categoría A	86

Figura 66. Gráfica 3D-IR e Histograma del totalizador general categoría A	87
Figura 67. Totalizador de alimentación alumbrado piso 2.....	88
Figura 68. Imagen térmica e imagen de luz visible del interruptor alumbrado piso 2	89
Figura 69. Gráfica 3D-IR e Histograma del interruptor alumbrado piso 2	90
Figura 70. Totalizador de alimentación tomas piso 2.....	91
Figura 71. Imagen térmica e imagen de luz visible del interruptor tomas piso 2....	92
Figura 72. Gráfica 3D-IR e Histograma del interruptor tomas piso 2	93
Figura 73. Totalizador de alimentación bienestar	94
Figura 74. Imagen térmica e imagen de luz visible del interruptor de bienestar	95
Figura 75. Gráfica 3D-IR e Histograma del interruptor de bienestar	96
Figura 76. Totalizador de alimentación cafetería	97
Figura 77. Imagen térmica e imagen de luz visible del interruptor de cafetería	98
Figura 78. Gráfica 3D-IR e Histograma del interruptor de cafetería.....	99

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Niveles de certificación de termógrafos.....	34
Cuadro 2. Valores de emisividad de materiales comunes	50
Cuadro 3. Marcadores de la imagen térmica del transformador	71
Cuadro 4. Información de la imagen térmica del transformador	72
Cuadro 5. Marcadores de la imagen térmica entradas del transformador	74
Cuadro 6. Información de la imagen térmica entradas del transformador	75
Cuadro 7. Marcadores de la imagen térmica salidas del transformador	76
Cuadro 8. Información de la imagen térmica salidas del transformador	77
Cuadro 9. Marcadores de la imagen térmica conductores de las salidas del transformador.....	79
Cuadro 10. Información de la imagen térmica conductores de las salidas del transformador.....	80
Cuadro 11. Marcadores de la imagen térmica conductores de las entradas del transformador.....	81
Cuadro 12. Información de la imagen térmica conductores de las entradas del transformador.....	83
Cuadro 13. Marcadores de la imagen térmica del totalizador general categoría A	86
Cuadro 14. Información de la imagen térmica totalizador general categoría A.....	87
Cuadro 15. Marcadores de la imagen térmica del interruptor alumbrado piso 2....	89
Cuadro 16. Información de la imagen térmica del interruptor alumbrado piso 2....	90
Cuadro 17. Marcadores de la imagen térmica del interruptor tomas piso 2.....	92
Cuadro 18. Información de la imagen térmica del interruptor tomas piso 2	93
Cuadro 19. Marcadores de la imagen térmica del interruptor de bienestar	95

Cuadro 20. Información de la imagen térmica del interruptor de bienestar.....96

Cuadro 21. Marcadores de la imagen térmica del interruptor de cafetería98

Cuadro 22. Información de la imagen térmica del interruptor de cafetería99

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Distancias de enfoque (Lente estándar)	43
Tabla 2. Distancias de enfoque (Lente teleobjetivo)	43
Tabla 3. Totalizadores generales e interruptores de alimentación.....	83

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).

EFEECTO 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).

EFECTO 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 termoelectrónico 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 (w) (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 interfase. 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 (16).

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 Fluke TI32 e identificar problemas en la subestación eléctrica del edificio 1, bloque B-BB, piso 0-P0.

Basados en la teoría de la termografía se realizó un diagnóstico en la subestación eléctrica y un análisis de cada imagen capturada. Para el análisis de las imágenes se utilizó el paquete computacional SmartView, el cual lo incluye la cámara térmica Fluke TI32, cada una de éstas imágenes tiene una serie de información que facilitó hacer un análisis cualitativo de la subestación eléctrica.

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 TI32 Fluke thermal camera and identify problems in electrical substation building 1, Block B-BB, 0-P0 floor.

It based on the theory of thermal imaging diagnosis was made at the electrical substation and an analysis of each image captured for image analysis SmartView computational package was used, which shall include the thermal camera Fluke TI32, each of these images has a number of information supplied to make a qualitative analysis of the electrical substation.

Keywords: field of vision, 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.

Este trabajo tiene como meta realizar el diagnóstico termográfico de la subestación de energía eléctrica del edificio 1, bloque B-BB, piso 0-P0 de la Universidad Tecnológica de Pereira, para esto se utiliza la cámara térmica Fluke TI32 para detectar sobrecargas y situaciones anómalas que hayan en dicha subestación, las cuales podrían afectar seriamente la seguridad de las personas que se encuentran en dicho lugar.

Los objetivos del proyecto consisten en:

Objetivo general: Realizar un diagnóstico termográfico de la subestación de energía eléctrica del edificio de Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Objetivos específicos:

- Conocer el estado del arte sobre termografía.
- Elaborar un manual para la configuración y el funcionamiento de la cámara térmica FLUKE TI32.
- Realizar mediciones con la cámara térmica FLUKE TI32.
- Analizar imágenes termográficas de la subestación 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 importante expresión (19):

$$c = f\lambda \quad 1$$

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

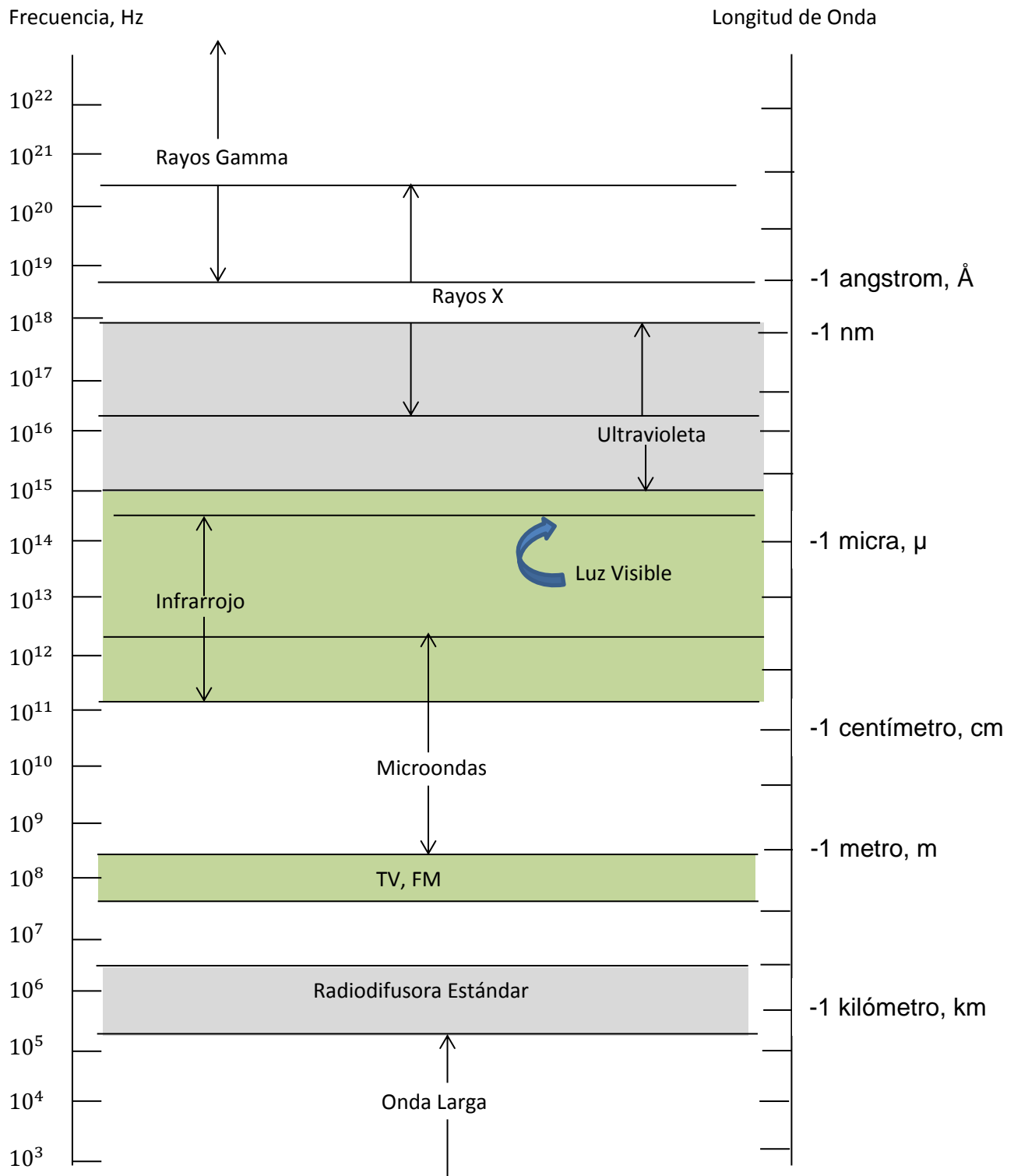
longitud de onda, siendo máxima a una longitud de onda de aproximadamente $5,6 \times 10^{-7} \text{ m}$ (amarillo-verde) (19).

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. Esta 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):

$$\begin{aligned}\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} &= \frac{Q}{\epsilon_0} && 2 \text{ Ley de Gauss} \\ \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} &= 0 && 3 \text{ Ley de Gauss del magnetismo} \\ \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} &= -\frac{d\Phi_B}{dt} && 4 \text{ Ley de Faraday} \\ \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} &= \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} && 5 \text{ Ley de Ampere-Maxwell}\end{aligned}$$

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 terminar en 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 Ampère-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:

$$P(W) = \frac{k \cdot A(T1 - T2)}{L} \quad 6$$

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

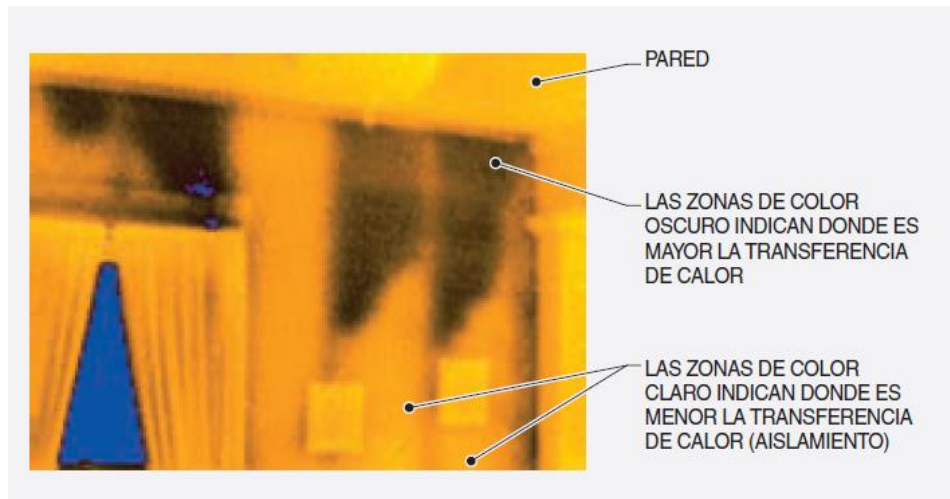


Imagen consultada en la referencia (1).

“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

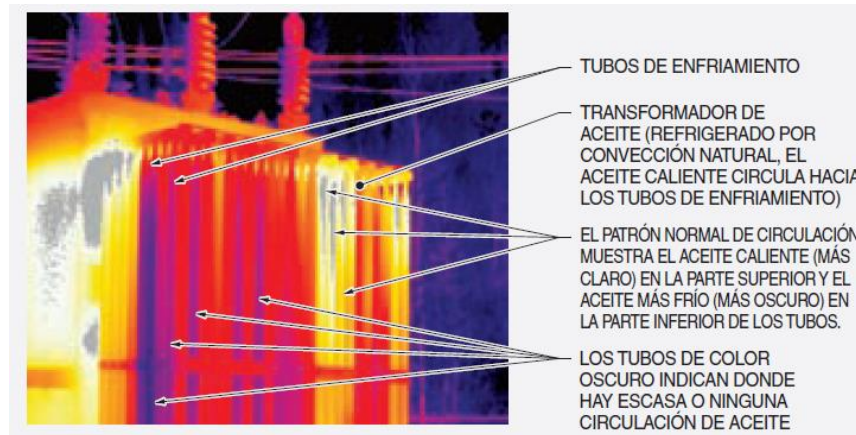


Imagen consultada en la referencia (1).

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

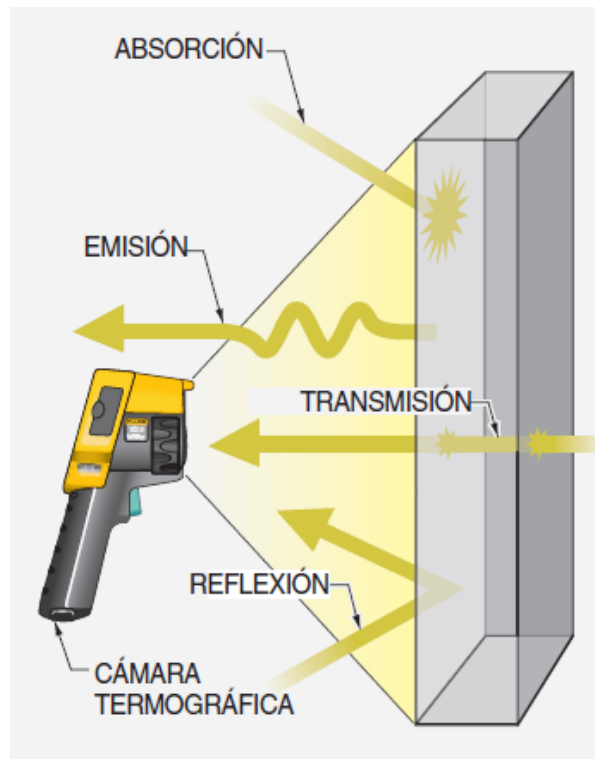


Imagen consultada en la referencia (1).

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):

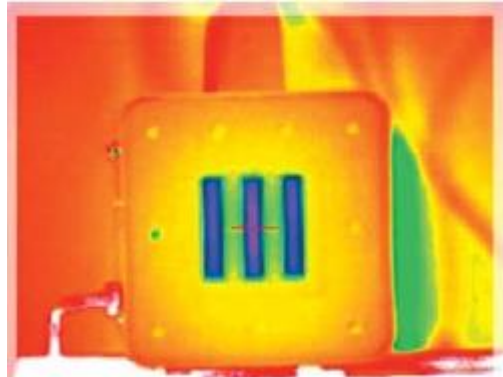
“Todos los cuerpos irradian energía que es proporcional a la temperatura absoluta. La energía térmica irradiada por un objeto se expresa en relación a la energía irradiada a la misma temperatura por un irradiador perfecto llamado un cuerpo negro. Un cuerpo negro absorbe toda la radiación que recibe e 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**:

$$W = \sigma T^4 \quad 7$$

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 absoluto. 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):

$$W = K\sigma(T^4 - (T_R)^4) \quad 8$$

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):

$$\varepsilon + \rho = 1 \quad 9$$

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):

$$\varepsilon + \rho + T = 1 \quad 10$$

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:

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

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, n , de un medio (para una longitud de onda y una dirección de polarización dadas) como:

$$n \equiv \frac{c_{\text{vacío}}}{c_{\text{medio}}}$$

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 $\lambda < 10^{-10} \text{ m}$ (ionizantes) por ionización en cámara de niebla o de burbujas.
- Para $10^{-10} < \lambda < 10^{-6} \text{ m}$ (rayos X, UV y visible) por penetración en paquete de placas fotográficas.
- Para $10^{-7} < \lambda < 10^{-4} \text{ m}$ (radiación térmica: UV, visible e Infrarroja) por efectos cuánticos, ópticos o térmicos:

- Los efectos cuánticos son (fotovoltaico, fotoconductor o fotoemisor): 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 *fotoemisor* 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).

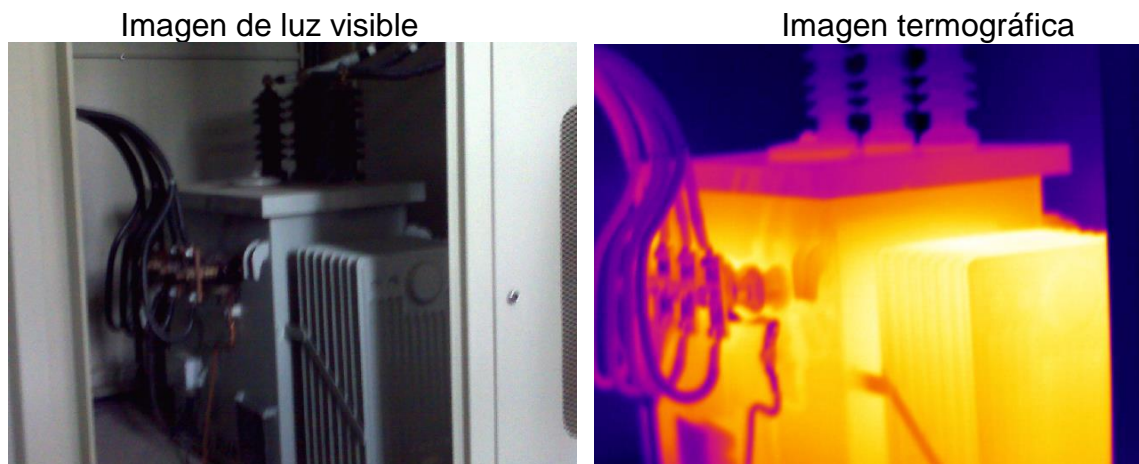
Todos los objetos tienen una información térmica, imperceptible a simple vista pero que se pone de manifiesto mediante las cámaras termográficas (2).

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 optoelectrónicos 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 (ver la Figura 6).

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.

1.7. 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

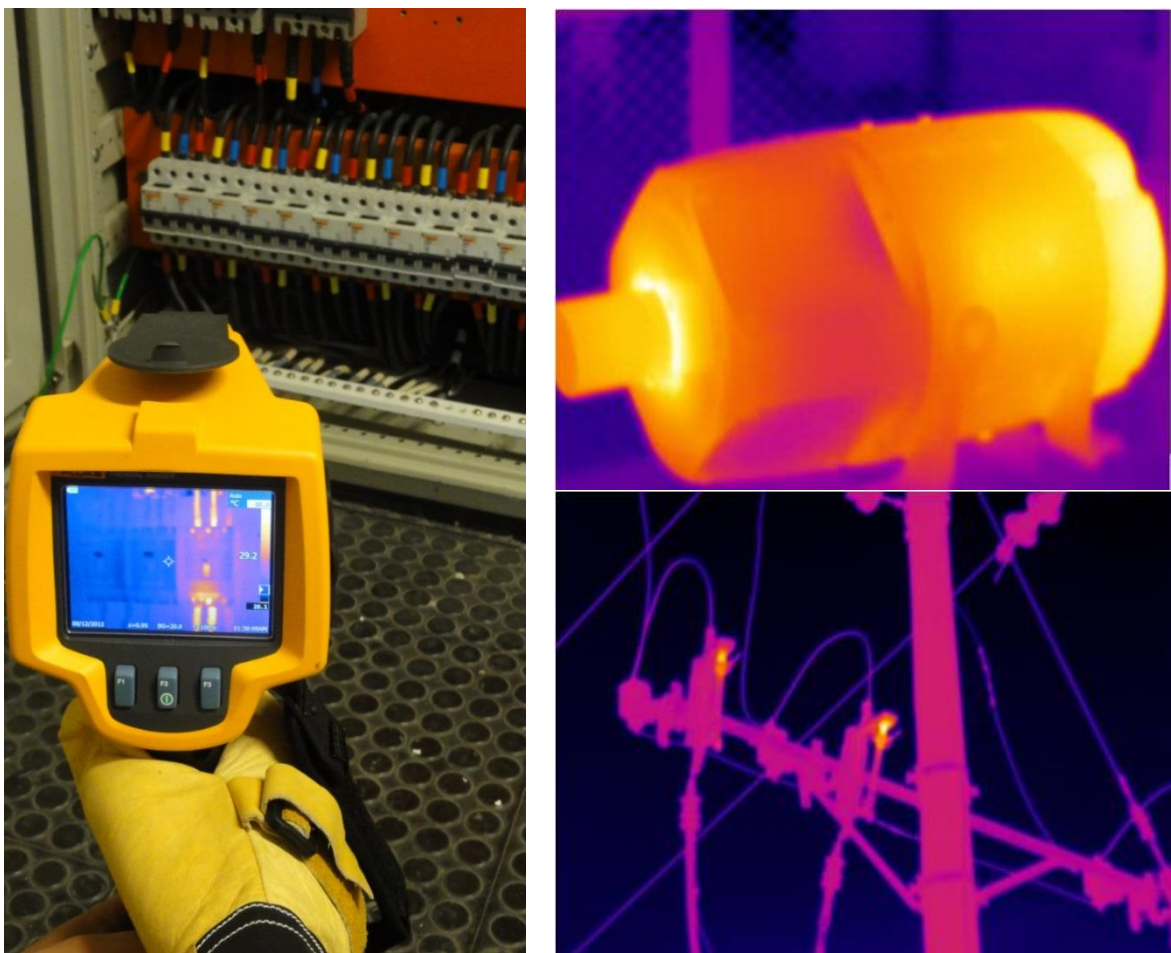
NIVEL I	Cualificado para recabar datos de alta calidad y clasificarlos por escrito con criterios de pasa/no pasa.
NIVEL II	Cualificado para configurar y calibrar el equipo, interpretar datos, crear informes y supervisar al personal del nivel 1.
NIVEL III	Cualificado para desarrollar procedimientos de inspección, interpretar códigos relacionados con este ámbito y gestionar un programa que incluya supervisión o formación y realización de comprobaciones.

2. CÁMARA TÉRMICA FLUKE TI32

2.1. FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA TÉRMICA FLUKE TI32

La cámara térmica Fluke TI32 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 (ver la Figura 7).

Figura 7. Detección de radiación infrarroja con la cámara térmica FlukeTI32



“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. Componentes de la cámara TI32

La cámara térmica Fluke TI32 consta de varios componentes incluyendo la lente, tapa de la lente, pantalla, detector y electrónica de procesamiento, controles y dispositivos de almacenamiento de datos (1).

Figura 8. Cámara térmica Fluke TI32



Lente: el lente de la cámara recoge la radiación infrarroja y la enfoca en el detector de infrarrojos. El detector produce una respuesta y crea una imagen electrónica (térmica) o termograma (1). El lente de la cámara termográfica se utiliza para recoger y enfocar la radiación infrarroja entrante en el detector (ver la .

Figura 9).

Figura 9. Lentes de la cámara térmica Fluke TI32



Tapa de la lente: cubierta retráctil de la lente (ver la Figura 10).

Figura 10. Tapa del lente de la cámara térmica Fluke TI32



Pantalla: las imágenes térmicas se muestran en la pantalla de cristal líquido (LCD) de la cámara térmica (1). La pantalla de cristal líquido debe ser lo suficientemente grande y brillante para poder verse con facilidad en las distintas condiciones de iluminación con las que se pueden encontrar sobre el terreno (ver la

Figura 11).

Figura 11. Pantalla de la cámara térmica Fluke TI32



Detector y electrónica de procesamiento: tanto el detector como la electrónica de procesamiento se utilizan para procesar la energía infrarroja y obtener información útil. La radiación térmica procedente del blanco se enfoca sobre el detector, que, por lo general, es un material semiconductor electrónico. La radiación térmica produce una respuesta medible en el detector (1). Esta respuesta se procesa electrónicamente en la cámara térmica para producir una imagen térmica en la pantalla (ver la Figura 12).

Figura 12. Electrónica de procesamiento

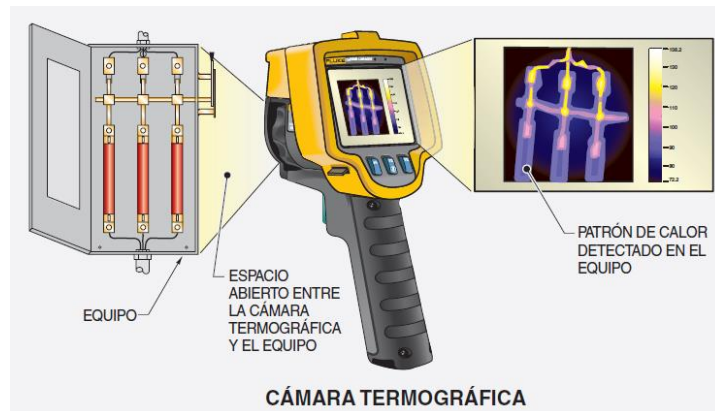


Imagen tomada de la referencia (1).

Controles: se pueden realizar distintos ajustes electrónicos con los controles para mejorar la imagen térmica visualizada en la pantalla. Los ajustes electrónicos pueden afectar a varias variables como el rango de temperaturas, intervalo y nivel térmico, paletas de colores y fusión de imágenes (1). Los ajustes también pueden afectar a la emisividad y la temperatura de fondo reflejada (ver la Figura 13).

Figura 13. Controles de la cámara térmica Fluke TI32



Dispositivos de almacenamiento de datos: los archivos digitales que contienen imágenes térmicas y los datos asociados se almacenan en distintos tipos de tarjetas de memoria electrónicas o dispositivos de almacenamiento y transferencia (ver la Figura 14).

Figura 14. Almacenamiento de datos cámara térmica Fluke TI32



Gatillo control: es el disparador de captura de las imágenes (ver la Figura 15).

Figura 15. Disparador de la cámara térmica Fluke TI32



Batería: las baterías son de ión de litio inteligente extraíble (ver la Figura 16).

Figura 16. Batería de la cámara térmica Fluke TI32



Base: base de carga de dos bahías (ver la Figura 17).

Figura 17. Base de la cámara térmica Fluke TI32



Lente teleobjetivo opcional: las lentes teleobjetivo para infrarrojos, opcionales y reemplazables por el usuario, permiten al operador ver y medir la temperatura de objetos situados a mayor distancia o de objetos pequeños a la distancia habitual (ver la Figura 18 y la Figura 19).

Figura 18. Lente teleobjetivo de la cámara térmica Fluke TI32



Figura 19. Conexión del lente teleobjetivo a la cámara térmica Fluke TI32



2.1.2. Campo de visión (FOV)

El **campo de visión (FOV: *Field of View*)** es una característica que define el tamaño de lo que se ve en la imagen térmica. La lente es el componente de mayor influencia en la conformación del campo de visión, independientemente del tamaño de la matriz. Sin embargo, cuanto más grandes sean las matrices mayor será la resolución, independientemente de la lente utilizada, en comparación con matrices más estrechas. En algunas aplicaciones, como en subestaciones al aire libre o dentro de un edificio, resultará útil un campo de visión grande (1).

La *resolución* visual afecta la claridad con que se pueden ver los componentes o equipos bajo estudio. En ocasiones, cuando se diagnostica un problema, se debe distinguir la fuente real del problema, entre dos o más posibles fuentes, localizadas una cerca de la otra. Cuanto más claro se pueda ver cada componente individual, más claramente se podrá distinguir la fuente del problema (2).

2.1.3. Campo de visión instantáneo (IFOV)

El **campo de visión instantáneo (IFOV: *Instantaneous Field of View*)** es la característica utilizada para describir la capacidad de una cámara termográfica para resolver detalles espaciales (resolución espacial). Normalmente el campo de visión instantáneo viene especificado como un ángulo en miliradianes (mRad) (1).

La cámara térmica puede ver un objeto a una distancia mayor de la que puede medir con precisión la temperatura de dicho objeto.

En la página de FLUKE (26), se dispone de la calculadora de campo de visión (FOV) con la que se pueden realizar los cálculos de relación distancia a tamaño del blanco, IFOV (espacial) e IFOV (medición):

http://download.fluke.com/OnlineTools/FOV_calc.htm

El IFOV (espacial) está relacionado con la “relación distancia a tamaño del blanco” de la cámara térmica, y puede decir a que distancia se puede ver un objeto de un tamaño determinado.

El IFOV (medición) indica a que distancia se puede medir con precisión la temperatura de ese mismo objeto. Esta distancia es menor. Aunque la cámara pueda detectar un objeto, no por eso se asume que siempre puede determinar con precisión la temperatura en distancias grandes.

2.1.4. Características de las lentes

Las características de los parámetros de las lentes se determinan en la calculadora de campo de visión (FOV):

http://download.fluke.com/OnlineTools/FOV_calc.htm

Lente infrarrojo estándar

Campo de visión: 23° x 17°

Resolución espacial (IFOV): 1,25 mRad

Distancia mínima de enfoque: 15 cm (aprox. 6 pulgadas), ver la Tabla 1.

Tabla 1. Distancias de enfoque (Lente estándar)

Distancia al objetivo	Ancho	Largo	Tamaño del punto (Spot Size)*
0,15 m	0,06 m	0,05 m	0,02 cm x 0,02 cm
0,20 m	0,08 m	0,06 m	0,03 cm x 0,03 cm

0,25 m	0,10 m	0,08 m	0,03 cm x 0,03 cm
0,30 m	0,12 m	0,09 m	0,04 cm x 0,04 cm
0,35 m	0,14 m	0,11 m	0,04 cm x 0,04 cm
0,40 m	0,16 m	0,12 m	0,05 cm x 0,05 cm
0,45 m	0,18 m	0,14 m	0,06 cm x 0,06 cm
0,50 m	0,20 m	0,15 m	0,06 cm x 0,06 cm

Lente infrarrojo teleobjetivo opcional

Campo de visión: 11,5° x 8,7°

Resolución espacial (IFOV): 0,63 mRad

Distancia mínima de enfoque: 45 cm (aprox. 18 pulgadas) ver la Tabla 2.

Tabla 2. Distancias de enfoque (Lente teleobjetivo)

Distancia al objetivo	Ancho	Largo	Tamaño del punto (Spot Size)*
0,45 m	0,09 m	0,07 m	0,03 cm x 0,03 cm
0,50 m	0,10 m	0,08 m	0,03 cm x 0,03 cm
0,55 m	0,11 m	0,08 m	0,03 cm x 0,03 cm
0,60 m	0,12 m	0,09 m	0,04 cm x 0,04 cm
0,65 m	0,13 m	0,10 m	0,04 cm x 0,04 cm
0,70 m	0,14 m	0,11 m	0,04 cm x 0,04 cm
0,75 m	0,15 m	0,11 m	0,05 cm x 0,05 cm
0,80 m	0,16 m	0,12 m	0,05 cm x 0,05 cm

Nota: **IFOV espacial**, representa el objeto más pequeño que la cámara termográfica puede detectar o ver. **IFOV medición** representa el objeto más pequeño a partir del cual una temperatura precisa puede ser medido por la cámara termográfica (26).

2.1.5. Beneficios de usar cámaras térmicas

- Se pueden hacer inspecciones más eficientes.
- Se puede mejorar el mantenimiento de los equipos.
- Puede aumentar la confiabilidad de los equipos.
- Puede mejorar la seguridad de los equipos.
- Ahorra dinero a las compañías.

La cámara térmica puede tomar fotos de:

- Equipos
- Máquinas
- Edificios

Desde una distancia segura y obtener imágenes térmicas de objetos que están en movimiento, o muy calientes, difíciles de alcanzar, no se pueden apagar o son peligrosos de tocar.

Las cámaras térmicas permiten obtener imágenes infrarrojas, se obtienen mediciones rápidas, seguras y precisas de la temperatura en objetos que:

- Están en movimiento, o muy calientes.
- Son difíciles de alcanzar
- No se pueden parar
- Son peligrosos de tocar

También se obtienen imágenes en situaciones donde el contacto con el objeto o producto podría dañarlo o contaminarlo o variar su temperatura.

2.2. CÓMO TOMAR UNA IMAGEN TÉRMICA

Cada uno de los elementos contiene un valor de temperatura, un complejo conjunto de algoritmos asigna colores específicos que corresponden exactamente al valor de la temperatura en cada coordenada (x, y) específica. Al tomar una imagen todos estos datos se guardan junto con ella, lo que permite hacer un análisis exhaustivo en pantalla o una vez que ha cargado la imagen en el computador mediante el software.

Se deben seguir tres reglas para capturar una imagen:

Ubicación de la imagen: si se quiere medir un objeto, se debe enfocar para que quede bien visible y en la posición que dé más información, el termógrafo debe acercarse todo lo que se pueda pero manteniendo una distancia segura (ver la Figura 20).

Figura 20. Ubicación de la imagen térmica



- *Enfoque*: una imagen desenfocada dará medidas erróneas, por lo tanto se debe tratar de mantener la pantalla limpia (ver la Figura 21).

Figura 21. Enfoque y desenfoco de la imagen



- *Ajuste del rango de temperatura*: se debe fijar el rango de medida que incluya lo que se pretende medir. Si se fija un rango muy ancho, se tendrá menos precisión en la medida.

En la imagen izquierda de la Figura 21 se muestra una imagen termográfica con enfoque, mientras que en la imagen de la derecha se observa una imagen desenfocada.

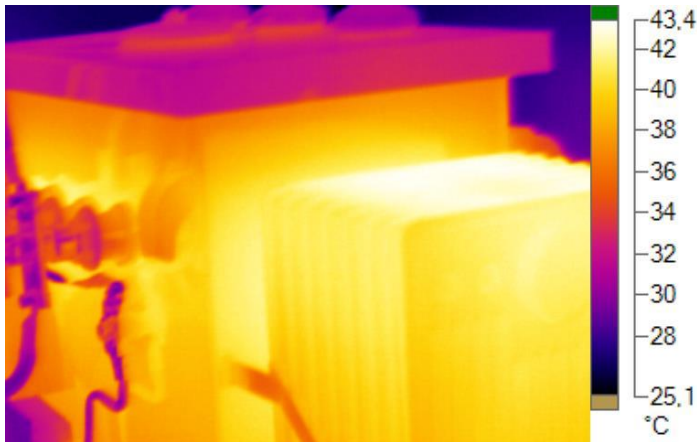
2.2.1. Cualidades de una buena imagen IR (Infra Roja)

Una imagen infrarroja debe tener todas estas cualidades (ver la Figura 22):

- Enfoque

- Nivel térmico
- Alcance térmico
- Rango térmico
- Perspectiva
- Composición
- Paleta de colores

Figura 22. Imagen Infrarroja



Una imagen termográfica bien enfocada ofrece una claridad y detalles que no se ven en una imagen desenfocada. El enfoque es esencial para conseguir una imagen térmica de buena calidad y no puede modificarse una vez que la imagen ha sido almacenada en la memoria de la cámara.

Las próximas cualidades que se deben considerar al tomar una imagen térmica son: *Nivel y Rango de la paleta de colores y Rango térmico*:

- El **nivel de la paleta de colores**, que es el equivalente al brillo en una fotografía.
- El **rango de la paleta de colores**, que es similar al contraste en una fotografía.
- El **rango térmico**, o rango de temperaturas de la imagen.

En la cámara térmica se puede ajustar la emisividad y la temperatura ambiente o reflejada. Parámetros que pueden ser importantes para realizar medidas de temperatura con precisión. Independiente de si se ajusta estos datos en la pantalla de la cámara, siempre se puede hacer luego en el computador con el software **SmartView**.

2.2.2. Captura de una imagen

El procesador de la cámara térmica muestra la imagen capturada y un menú. El menú permite almacenar imágenes, realizar ajustes en la configuración de las imágenes y grabar anotaciones de audio en el formato de archivo “is2” (27).

Obtener temperaturas precisas depende de muchos factores, entre los que se puede incluir:

- Calibración de la cámara
- Corrección de la emisividad
- Compensación de temperatura reflejada
- Relación distancia – tamaño del objeto

Al encender por primera vez la cámara térmica, la imagen se congela brevemente, esto forma parte del funcionamiento de todas las cámaras termográficas, en especial al encenderlas. Durante ese tiempo, el obturador interno bloquea brevemente la imagen en vivo mientras corrige y compensa cualquier variación en la medida, realizando una secuencia de recalibración.

Cuando la cámara térmica ha estado trabajando durante un cierto tiempo en un ambiente determinado ya no necesita autocalibrarse tan frecuentemente. Sin embargo, si se cambia a una zona de temperaturas muy distintas, entonces, se debe repetir el proceso con más frecuencia hasta estabilizarla nuevamente.

La cámara térmica mide la radiación total (temperaturas radiométricas) que proviene de una superficie, esto incluye la radiación emitida por el objeto y la reflejada por el propio objeto. Sin embargo solo la radiación emitida se relaciona con la temperatura del objeto, la radiación reflejada no dice nada sobre la temperatura del objeto.

2.2.3. Reflectividad

La Reflectividad mide la relación entre la amplitud del campo electromagnético reflejado respecto a la amplitud del campo incidente. Para obtener una imagen precisa también es importante considerar la reflectividad. Los objetos de baja emisividad son, al mismo tiempo, muy reflectantes de sus entornos térmicos.

El hecho es que, debido a la reflectividad, algunas imágenes térmicas pueden ser muy confusas. La energía reflejada que “ve” la cámara térmica no está relacionada con la temperatura real del objeto (ver la Figura 23).

Figura 23. Reflectividad

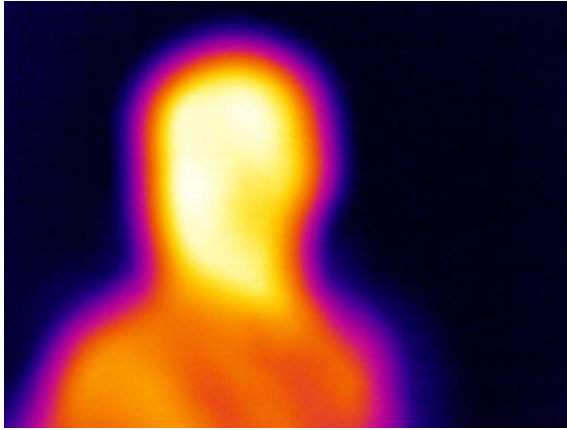


Imagen térmica e imagen visible.

2.2.4. Distancia mínima para enfoque

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 al entorno (tropiezos, 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.

2.2.5. 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.

2.3. 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).

2.3.1. 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.

2.3.2. 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	0,10

Material de Temperatura (°C)	Emisividad
Cromo, pulido	0,10
Mercurio, puro	0,10
Latón, pulido	0,10
Acero, plancha, niquelado	0,11
Hierro, brillante, grabado	0,16
Zinc, plancha	0,20
Zinc, feuille	0,20
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
Tela de amianto	0,78
Carbón, purificado	0,80
Nieve	0,80
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	0,90

Material de Temperatura (°C)	Emisividad
Papel, negro, brillante	0,90
Papel, blanco	0,90
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
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.

2.3.3. 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).

2.4. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

La cámara térmica Fluke 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.

- Las tendencias a partir de esta información pueden utilizarse para predecir cuándo se producirán fallos o condiciones operativas inaceptables del equipo. De esta forma se pueden realizar las labores de reparación y sustitución antes de que se produzca dicho fallo.

El **mantenimiento preventivo** tiene por objeto prolongar la vida del equipo y reducir la probabilidad de fallos.

- Los procedimientos de mantenimiento preventivo se ejecutan periódicamente.
- El mantenimiento preventivo es similar a cambiarle el aceite al automóvil cada 3000 kilómetros.

El **mantenimiento reactivo**, sencillamente implica arreglar lo que se avería o rompe.

2.5. PAQUETE COMPUTACIONAL SMARTVIEW

El software gratuito SmartView forma parte integral del paquete de sistema termográfico Fluke (26), el cual permite ajustar y analizar imágenes, cambiar paletas, usar herramientas de marcado de dibujo, tablas de temperatura, gráficas y otras herramientas de análisis. Permite crear informes termográficos personalizados con información detallada, se puede descargar de la siguiente página:

<http://en-us.fluke.com/support/software-downloads/?pid=210922191>

2.5.1. Preferencias de configuración

Configurar SmartView ajustando las preferencias, elegir la opción de edición en la barra de herramientas, seleccionar la opción de preferencias (ver la Figura 24), ir a la ficha de aplicaciones para ajustar el orden de los archivos, el idioma y las unidades de temperatura, ir a la ficha de informes para ajustar el formato de salida de los informes, en respuesta a los deseos de los usuarios, el formato de salida por omisión es un archivo docx compatible con Microsoft Word. Aunque también se puede generar el informe en formato PDF, así mismo es posible generar el

informe en ambos formatos a la vez (ver la Figura 25 y la

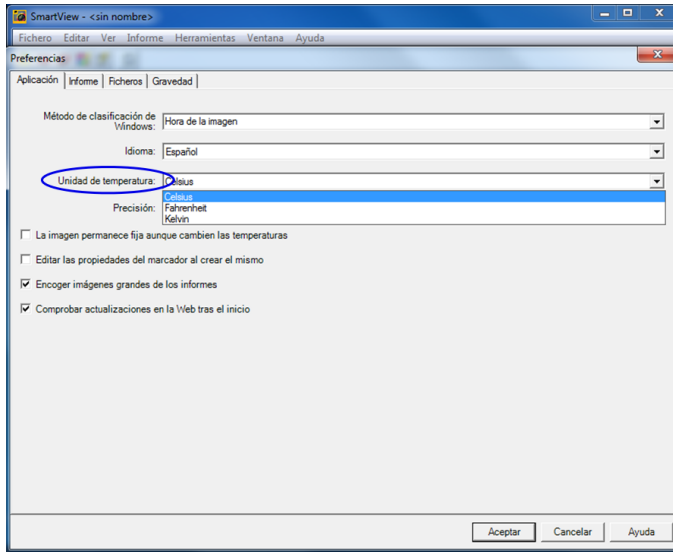


Figura 26). Si se genera el informe en Microsoft Word se podrá insertar más información, usar herramientas tales como el corrector ortográfico y añadir datos cuando se quiera. Ambos formatos de informe permiten imprimir los archivos o enviarlos por correo electrónico inmediatamente, ir a la ficha de archivos para guardar o crear un archivo nuevo de configuración y para cambiar el directorio de plantillas de informes.

Figura 24. Preferencias de configuración SmartView

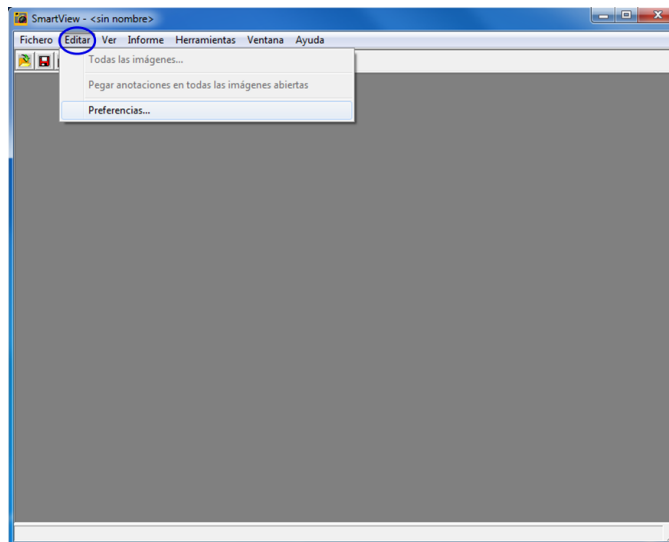


Figura 25. Ajuste de archivos, idioma y unidades de temperatura

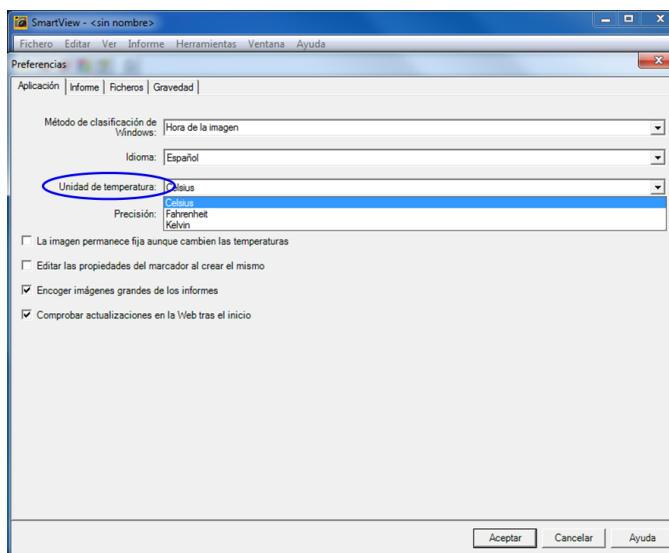
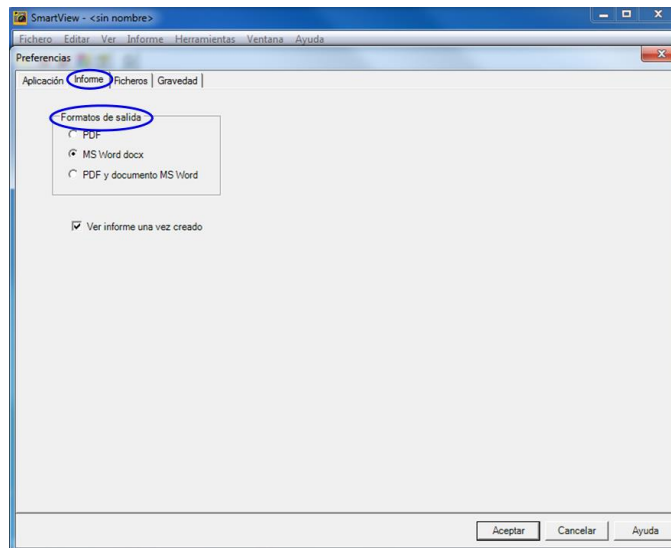


Figura 26. Formato de salida de los informes



2.5.2. Transferencia de imágenes al computador

Transferir imágenes de la cámara térmica al computador es tan sencillo como hacerlo desde una cámara digital, se debe retirar la tarjeta de memoria SD de la cámara térmica e insertarla en el lector de tarjetas que trae la cámara térmica, luego se conecta el lector de tarjetas al computador con el cable incluido y después se transfieren las imágenes al computador, en función del formato del archivo, se pueden usar en el software SmartView o en otro paquete de software o enviarlas por correo electrónico, si se guardan las imágenes como archivos (is2) se pueden usar las herramientas de análisis y generación de informes SmartView, si se guardan las imágenes como archivos (bmp) o Bitmap se pueden enviar por correo electrónico o insertarlas en documentos de Microsoft Word pero no se podrían usar las funciones de análisis SmartView.

Para comenzar se debe seleccionar archivo, abrir y seleccionar las imágenes que se desean visualizar y luego pulsar abrir (ver la Figura 27 y la Figura 28).

Después se da doble clic en una imagen (ver la Figura 29).

En la ficha de análisis se podrá regular fácilmente el nivel y el ámbito arrastrando el indicador o cambiando el valor de temperatura (ver la Figura 30). Se usa el menú desplegable de colores de la paleta para adaptar estas a las necesidades de análisis o de generación de informes, tanto si se edita como se analiza, la meta es seleccionar la paleta que mejor identifique y comunique el problema, ninguna paleta es errónea si cumple ese objetivo (ver la Figura 31). Se puede mover el control deslizante de totalmente infrarrojo a totalmente visible para fusionar la imagen (ver la Figura 32).

Figura 27. Inicio del Software SmartView

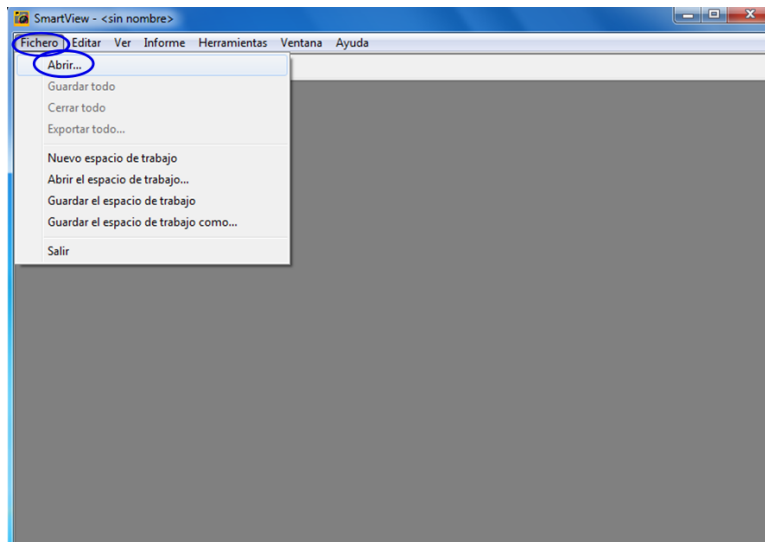


Figura 28. Seleccionar imágenes

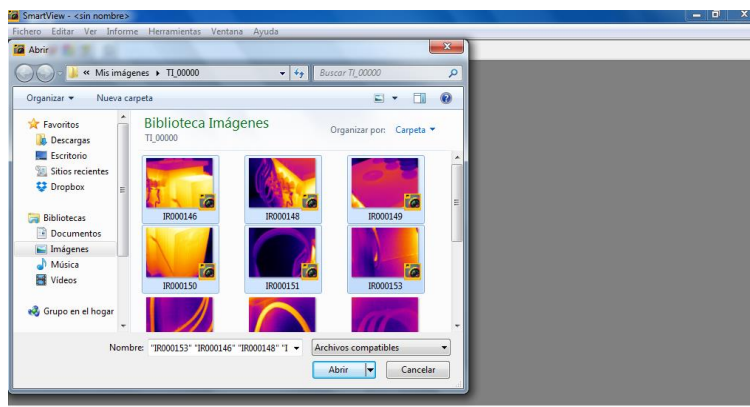


Figura 29. Editar imágenes

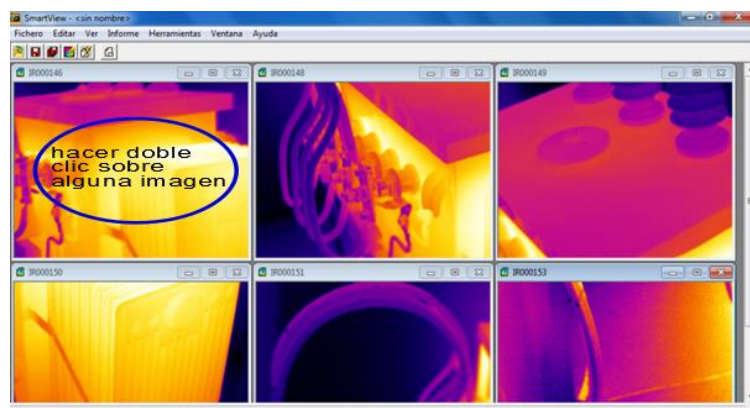


Figura 30. Nivel, ámbito y valor de temperatura

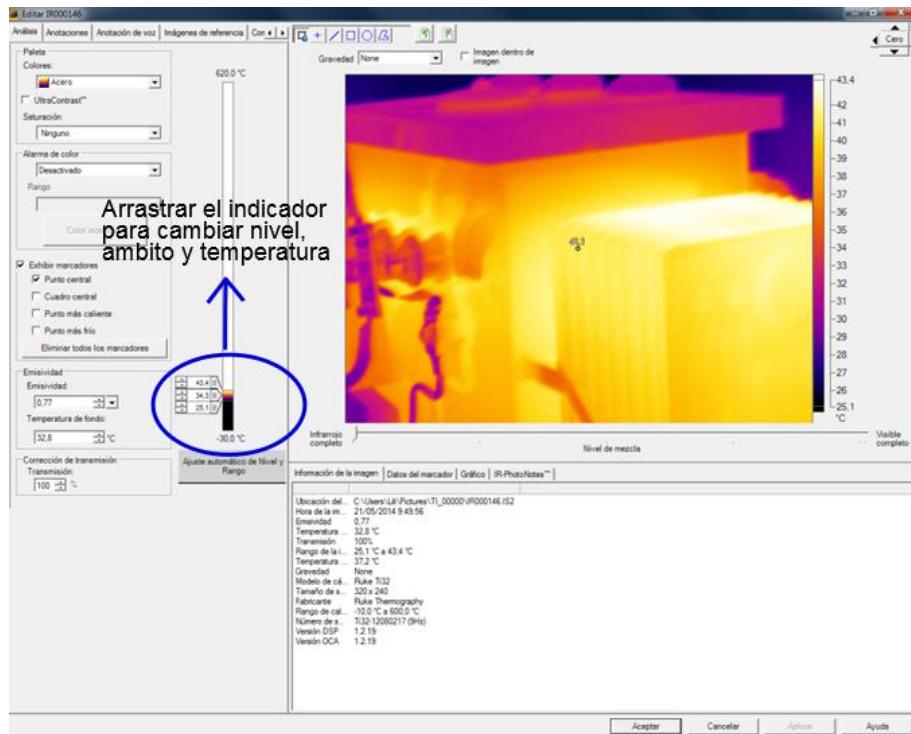


Figura 31. Paleta de colores

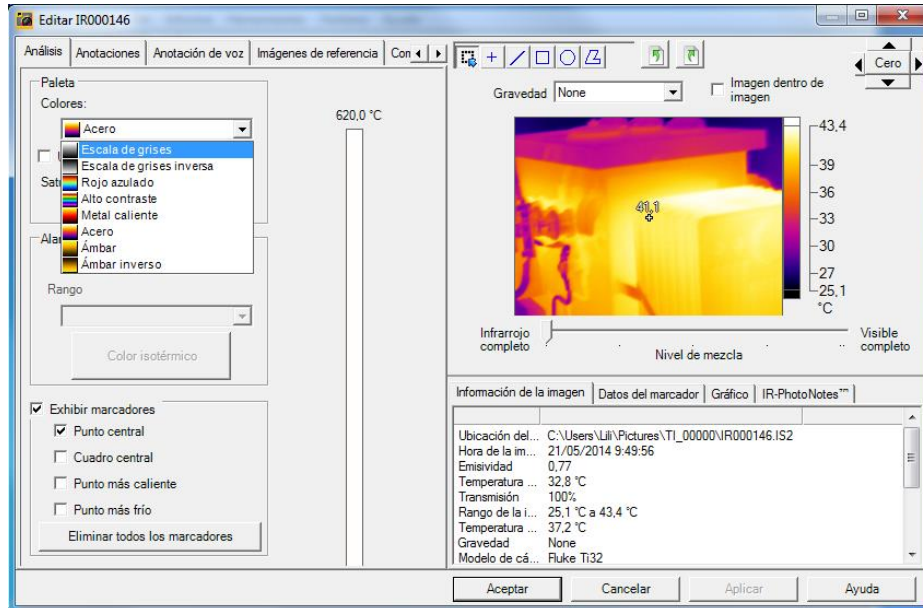
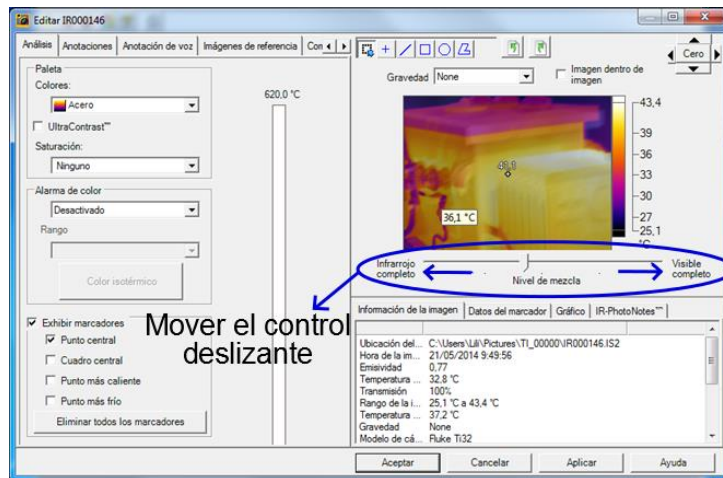


Figura 32. Control deslizante



2.5.3. Marcadores

Se usan los marcadores para facilitar el análisis de los objetos, se hace clic en las casillas para insertar marcadores predeterminados en la imagen (ver la Figura 33). Alternativamente se definen haciendo clic en el tipo de marcador que se desee y arrastrándolos sobre la imagen, se puede mover los marcadores con la herramienta de selección correspondiente (ver la Figura 34). Para editar un marcador hacer doble clic en él, en el menú que aparece se cambia el nombre del marcador, su color o la ubicación del texto y se añaden datos (ver la Figura 35). Para ocultar temporalmente los marcadores, quitar la marca de la casilla exhibir marcadores, para volver a mostrarlos marcarla de nuevo, haciendo clic en la ficha de datos de marcadores se podrá ver datos y estadísticas sobre los marcadores que ayudan a analizar la imagen.

Figura 33. Marcadores predeterminados

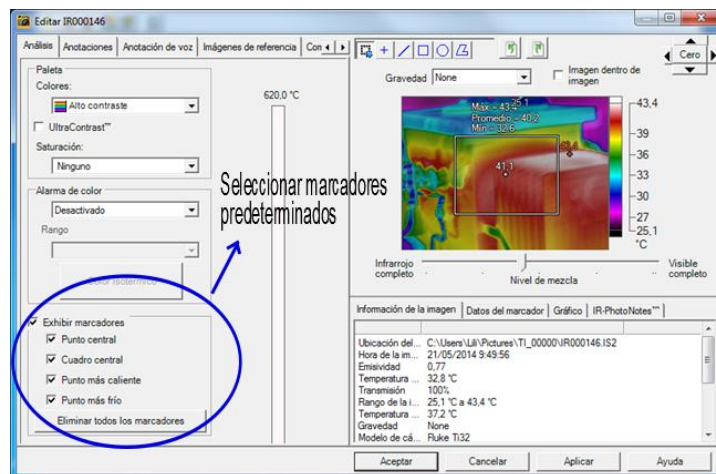


Figura 34. Marcadores personalizados

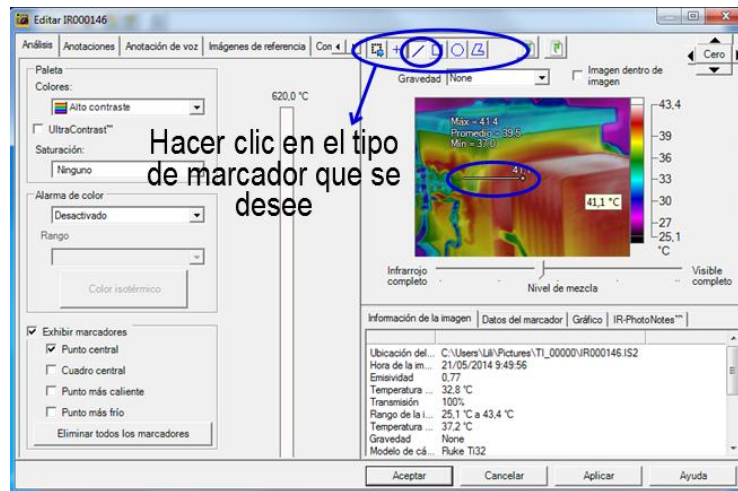
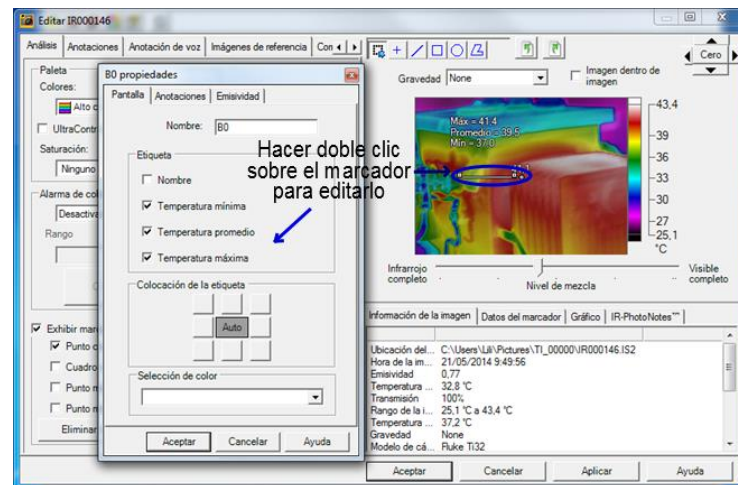


Figura 35. Propiedades de los marcadores



2.5.4. Imagen dentro de imagen y alarmas de temperatura

Se visualiza en el modo imagen dentro de una imagen de IR fusión para ver la imagen de infrarrojos en su contexto (ver la Figura 36). También es muy útil usar el control deslizante para fusionar las imágenes visibles y de infrarrojos. Se usa el menú desplegable de alarma de color para activar ese tipo de alarmas, hay cuatro opciones en la alarma de menú desplegable, se pueden regular los ajustes arrastrando el indicador o cambiando su valor de temperatura para ver el detalle que se necesita, por ejemplo crear una alarma para temperaturas por debajo de los 60°, si la imagen contiene temperaturas inferiores a los 60° la paleta de infrarrojos será visible en esas áreas (ver la Figura 37).

Figura 36. Imagen dentro de imagen

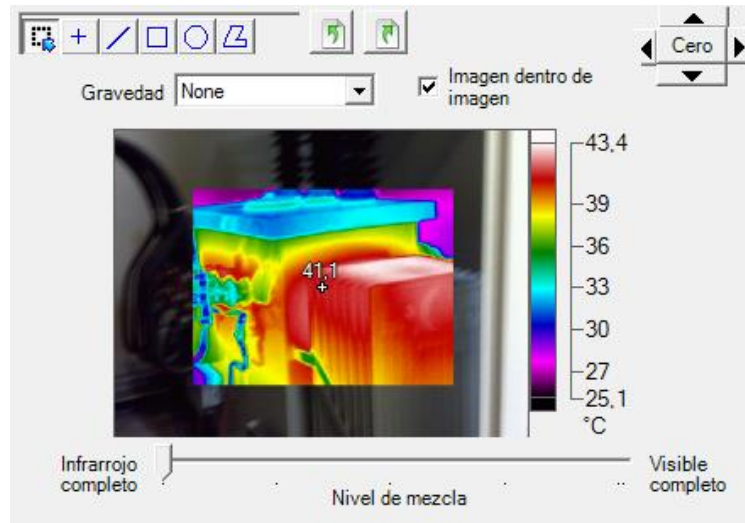
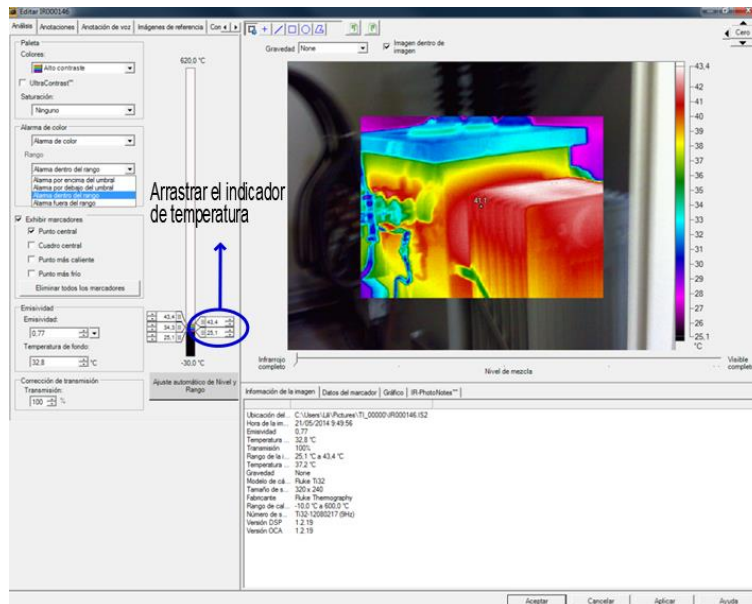


Figura 37. Menú desplegable alarma de color



2.5.5. Gráficas

Al hacer clic en la ficha de gráficas, se verán las gráficas de temperatura creadas con marcadores de línea (ver la Figura 38 y la

Figura 39), diagramas de barra, el histograma muestra la cantidad de píxeles en función de la temperatura (ver la Figura 40) y las gráficas de superficie 3D-IR (ver la

Figura 41). Las gráficas se usan para analizar las imágenes más a fondo, identificar otras zonas problemáticas y para encontrar y eliminar falsos positivos. Hacer clic en la ficha visible, se verá la imagen de luz visible e IR-Fusion y su imagen infrarroja una junta a otra lo que facilitará el análisis, marcar la casilla de marco completo para ampliar su vista de la imagen de luz visible de referencia (ver la Figura 42).

Figura 38. Gráfica con marcadores de línea

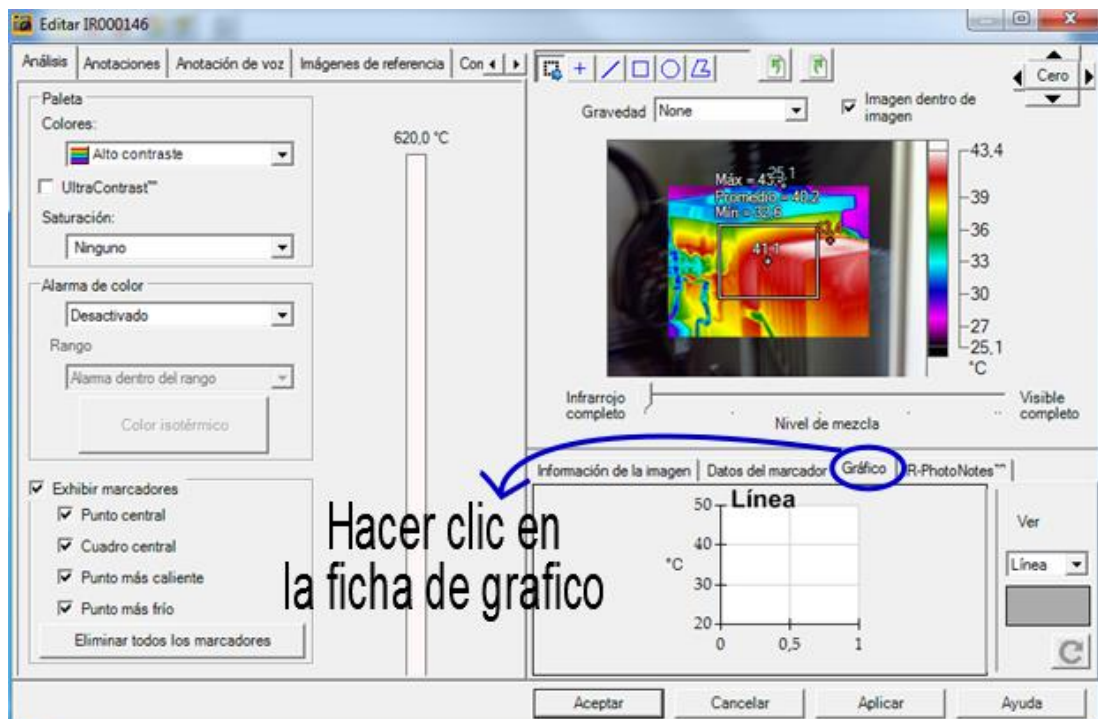


Figura 39. Gráfica con marcadores de línea – perfil X y perfil Y

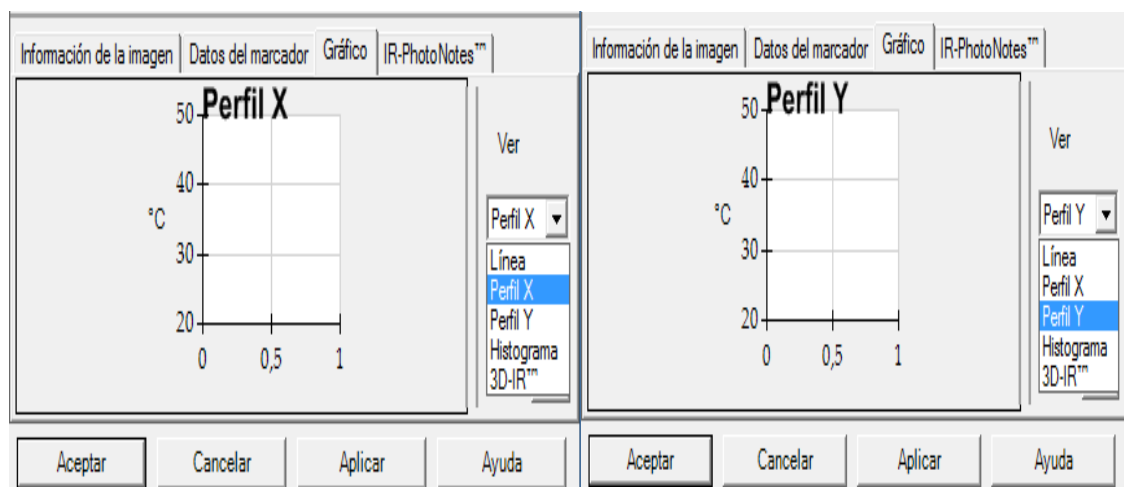


Figura 40. Gráfica con diagramas de barra

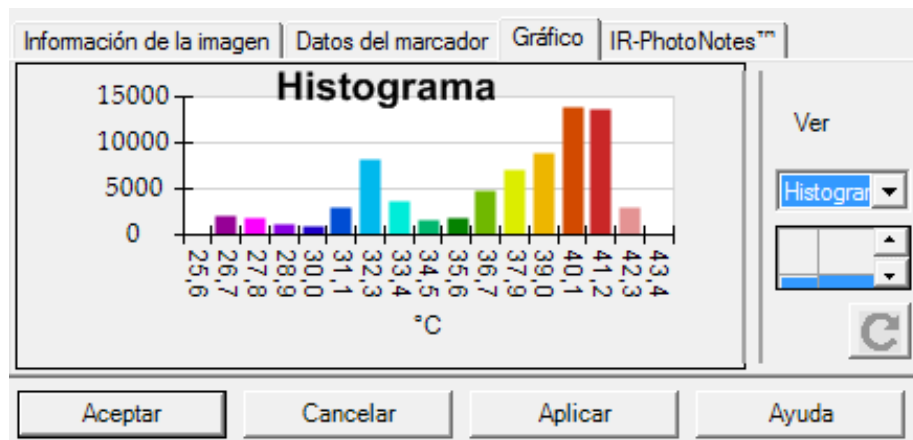


Figura 41. Gráfica de superficies 3D-IR

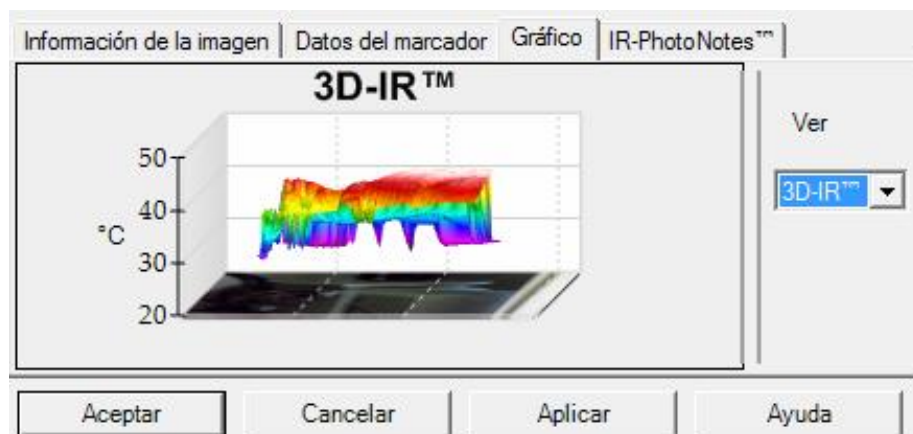
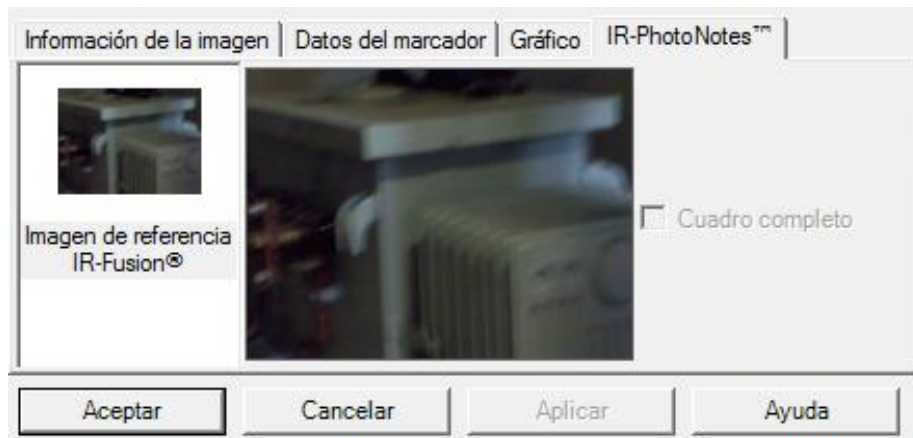
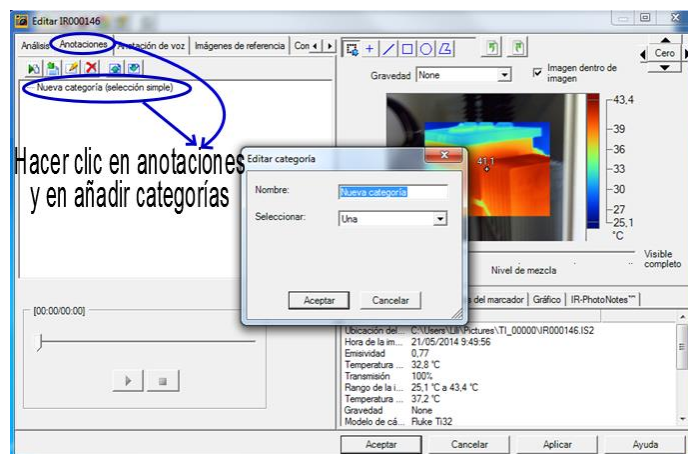


Figura 42. Imagen de luz visible e IR-Fusion



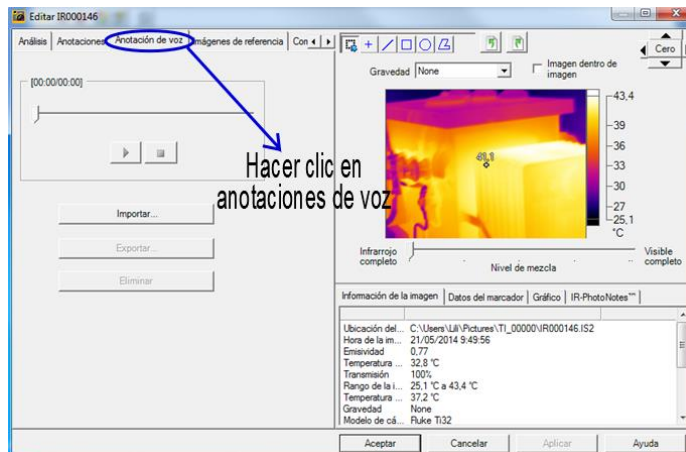
Usar las **anotaciones** de texto para describir la imagen, indicar detalles tales como la ubicación, los problemas potenciales y la gravedad. Toda la información que se introduzca aquí se reflejará en el informe, se puede añadir categorías y anotaciones de texto con los botones de menú o haciendo clic con el botón secundario del mouse (ver la Figura 43). También se pueden añadir categorías y anotaciones de texto a todas las imágenes abiertas a la vez, seleccionar herramientas, editor de archivo de anotaciones, abrir el archivo de anotaciones, mantener pulsado el botón del mouse mientras se arrastra la anotación, dejar de pulsar el mouse sobre una imagen para insertar la anotación en ella o dejar de pulsarlo sobre el fondo para insertar la anotación en todas las imágenes abiertas.

Figura 43. Anotaciones



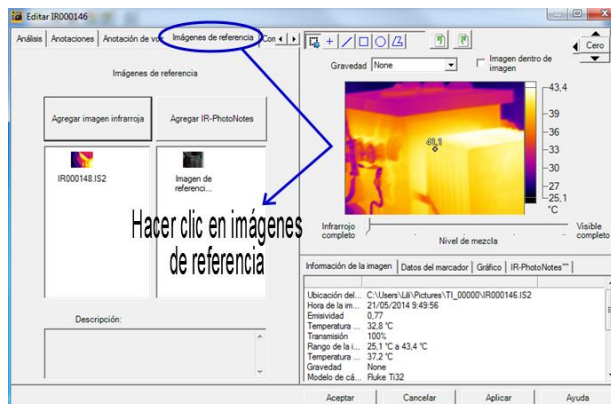
Hacer clic en la ficha de **anotaciones de voz**, oír las notas de audio grabadas con su imagen térmica, reproducir la anotación de audio, las fichas de anotación de voz, comentarios o anotaciones (ver la Figura 44).

Figura 44. Anotaciones de voz



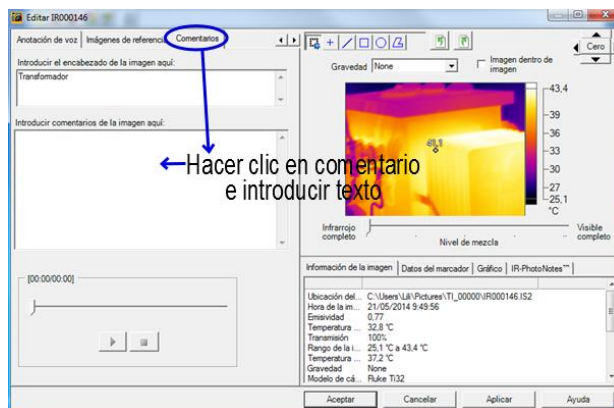
Hacer clic en la ficha de **imágenes de referencia**, usar esta función cuando se quiera añadir una imagen que muestre el estado anterior y posterior a una reparación o para añadir cualquier otra imagen relacionada con el proyecto la imagen de luz visible de referencia aparecerá automáticamente con las imágenes de IR- fusión (ver la Figura 45).

Figura 45. Imágenes de referencia



Para añadir un encabezamiento y una leyenda a la imagen, hacer clic en la **ficha de comentarios** e introducir el texto, el texto de campo de comentarios servirá como leyenda de la imagen en el informe (ver la Figura 46). Cuando se termine de añadir marcadores y otras anotaciones, hacer clic en aceptar para continuar y guardar los cambios. Alternativamente hacer clic en cancelar para descartar los cambios, si se hace clic en aceptar para guardar los cambios se verá un asterisco en el título de la imagen que indica que se han hecho cambios pero que aún no se han guardado, hacer clic en el botón guardar para guardar los cambios.

Figura 46. Ficha de comentarios



2.5.6. Informe rápido

Una de las mejores funciones de SmartView es la creación de informes. SmartView permite generar informes de dos formas: informe rápido o asistente de informes. Para generar un informe de todas las imágenes abiertas con solo pulsar un botón se usa informe rápido, en la barra de herramientas hacer clic en informe y seleccionar configuración de informes rápidos (ver la Figura 47). Configurar el informe marcando o introduciendo las opciones de generación que se deseen en la página de título, se puede cargar el logotipo de la empresa y una imagen para que aparezcan en la portada del informe, también se puede añadir una foto de las instalaciones que se está inspeccionando o una foto o ilustración que realce la imagen de la empresa, en la ficha de diseño se puede seleccionar o deseleccionar las opciones que se desee mostrar por omisión la tabla de marcadores es visible e incluye las estadísticas de los marcadores que se hayan insertado al editar la imagen, marcar la casilla incluir gráfica y seleccionar la gráfica para insertar esos detalles adicionales, marcar la casilla incluir tabla de contenido si el informe versa sobre varias imágenes y va a incluir la lista de los nombres de los archivos y los números de las paginas en que aparecen. La ficha de aspecto permite darle formato a los colores secundarios y añadir un encabezamiento y un pie de página (ver la Figura 48). En la ficha de resumen marcar la casilla incluir resumen de informe si se desea crear una página de resumen para el informe. A continuación se introduce el texto en la sección de resumen, crea campos de resumen de informe introduciendo un nombre en la columna de campo, por ejemplo: eléctrico hacer clic en la columna de resumen y escribir un resumen específico para ese informe, por ejemplo, algunos cables de corriente se están recalentando, seguir añadiendo campos y resúmenes según sea necesario, marcar las casillas junto a las líneas que se desee incluir en el informe, también se puede escribir un resumen tipo párrafo en la sección de texto de resumen del informe, hacer clic en aceptar cuando se termine (ver la

Figura 49). A continuación hacer clic en el botón informe rápido en unos segundos se generara un informe basado en las preferencias, guardar el informe, imprimirlo o enviarlo por correo electrónico a colegas o clientes. Todos los cambios realizados en la configuración para informe rápido se guardan y en el futuro todos los informes tendrán el mismo formato, esta es la forma ideal de crear un informe típico que vaya a usarse con frecuencia.

Figura 47. Informe rápido

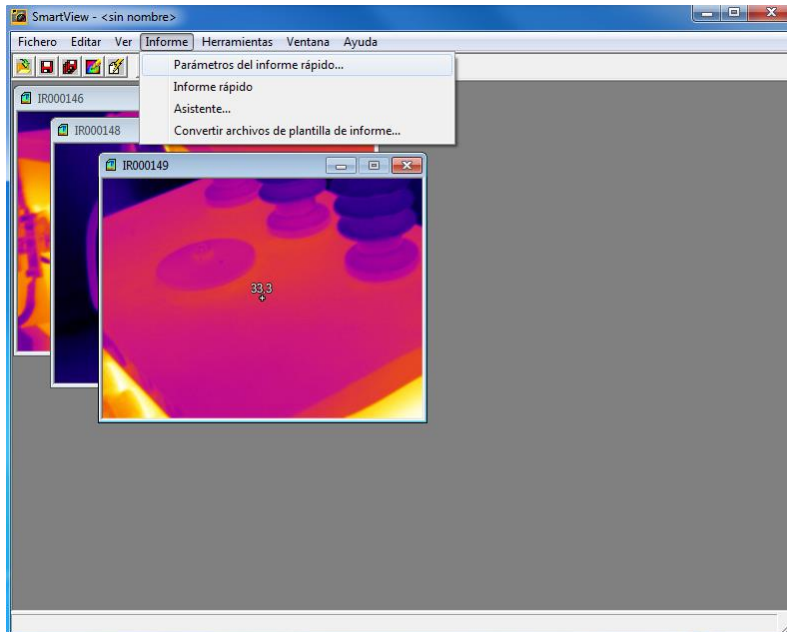


Figura 48. Configuración de informe rápido

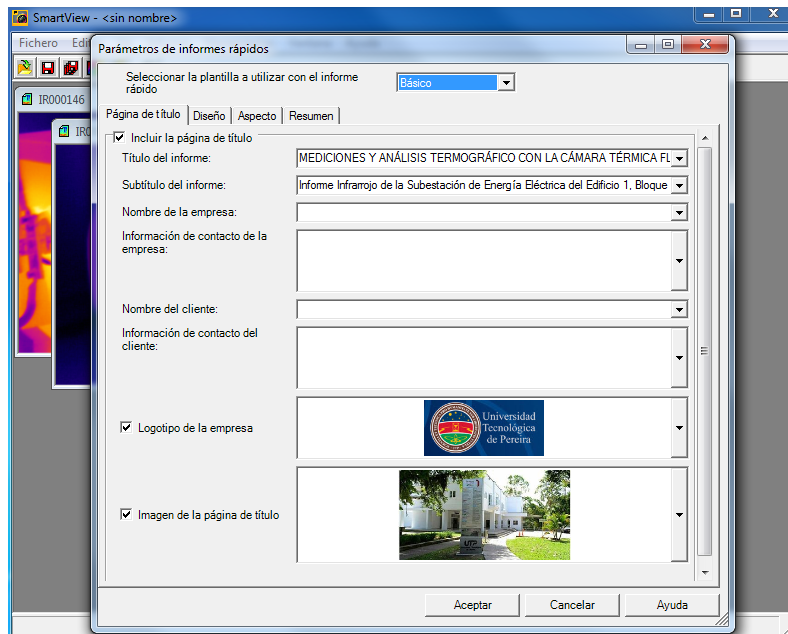
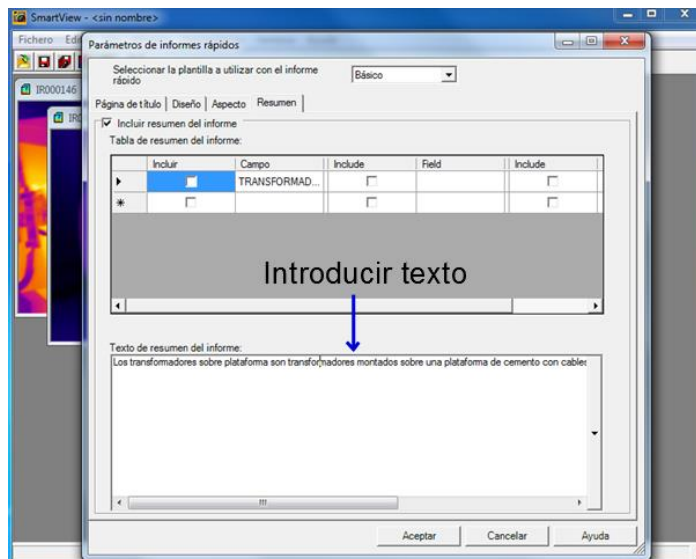


Figura 49. Resumen de informe



Ir al menú de informe y seleccionar la opción de asistente (**Asistente de informes**), quitar la marca de las casillas junto a las imágenes que se deseen excluir del informe (ver la Figura 50 y la Figura 51), hacer clic en siguiente, hacer

clic en la plantilla de informe que se desee usar, hacer clic en siguiente, configurar el informe siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó con la opción de informe rápido, el asistente de informes guarda la configuración que se usó para generar el último informe. Además los campos de texto guardan las 15 entradas más recientes para que este accesible el texto que se introduce con frecuencia, hacer clic en finalizar para generar un informe.

Figura 50. Asistente de informes

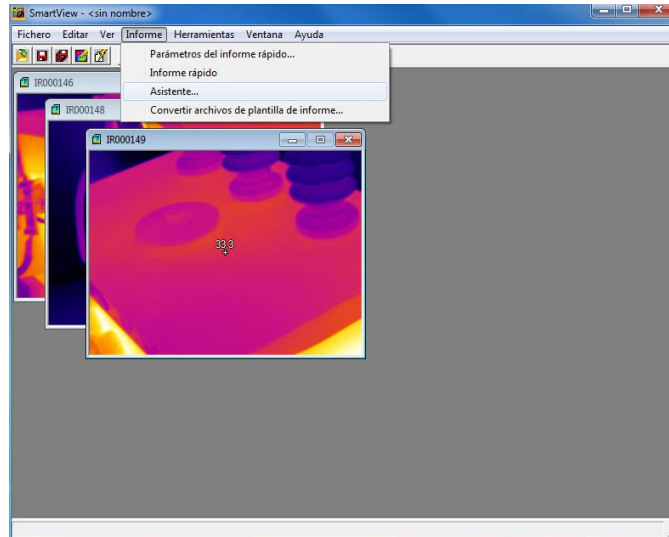
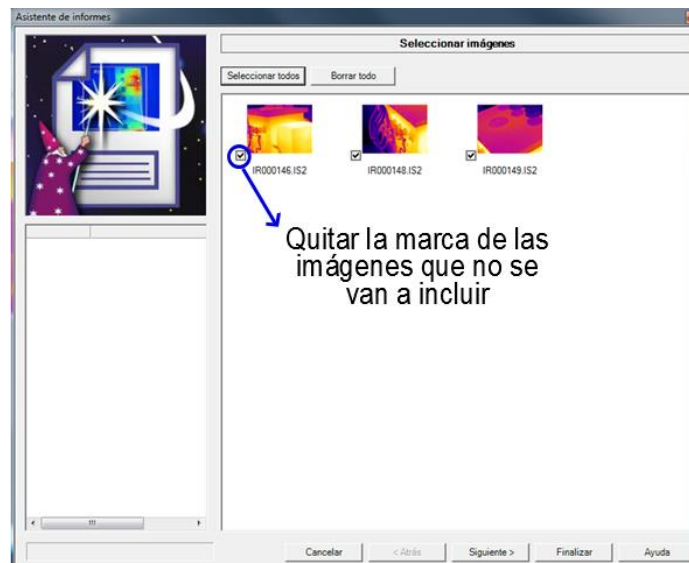


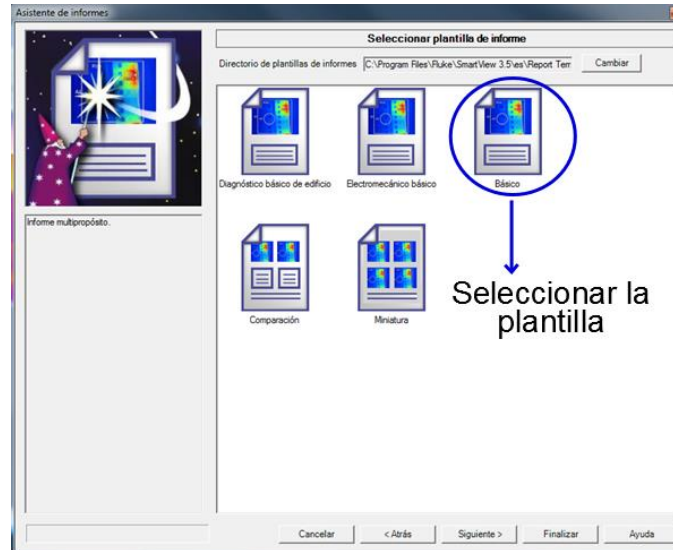
Figura 51. Imágenes del informe



SmartView incluye 3 **plantillas de informes**: básica, comparación y miniatura. El tipo básico se usa para informes genéricos para describir los resultados de una inspección y ofrecer sugerencias sobre las medidas necesarias. El tipo

comparativo se usa para comparar dos imágenes de infrarrojos antes-después o correcto-incorrecto. El tipo de miniatura se usa para mostrar versiones reducidas de todas las imágenes capturadas durante una inspección (ver la Figura 52). Si se usa Microsoft Word 2007 se puede personalizar completamente el informe cuando cambia la ubicación de los elementos ajustando la configuración de la fuente y añadiendo más información.

Figura 52. Plantillas de informes



3. MEDICIONES Y ANÁLISIS TERMOGRÁFICO CON LA CÁMARA TÉRMICA FLUKE TI32 EN LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DEL EDIFICIO 1, BLOQUE B

La cámara térmica Fluke TI32 genera una señal relacionada a la energía radiactiva recibida, la cual, si se considera el sistema observado totalmente aislado del medioambiente, 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) (28).

El 21 de mayo de 2014 se realizaron varias mediciones termográficas en el transformador de la subestación eléctrica del edificio 1, bloque B-BB, piso 0-P0 a una temperatura ambiente entre 21 °C – 24 °C.

Las siguientes imágenes fueron tomadas con la Cámara Térmica Fluke TI32 (16) y analizadas con el software SmartView (26).

3.1. TRANSFORMADOR

En la subestación de energía eléctrica del edificio 1, bloque B-BB, piso 0-P0 de la UTP, está ubicado el transformador de 13200/208-120 V, 112,5 kVA. El transformador está montado sobre una plataforma de cemento.

Para la medición termográfica se tomó una emisividad de 0,77 correspondiente al material de hierro laminado en caliente.

En la Figura 53 se observan la imagen térmica e imagen de luz visible: (a) la imagen térmica con una paleta de colores denominada “alto contraste” y con marcadores para determinar el punto central, el punto más caliente y el más frío, y (b) la imagen de luz visible. El punto más caliente es de 43,4 °C ubicado en la parte del radiador de refrigeración.

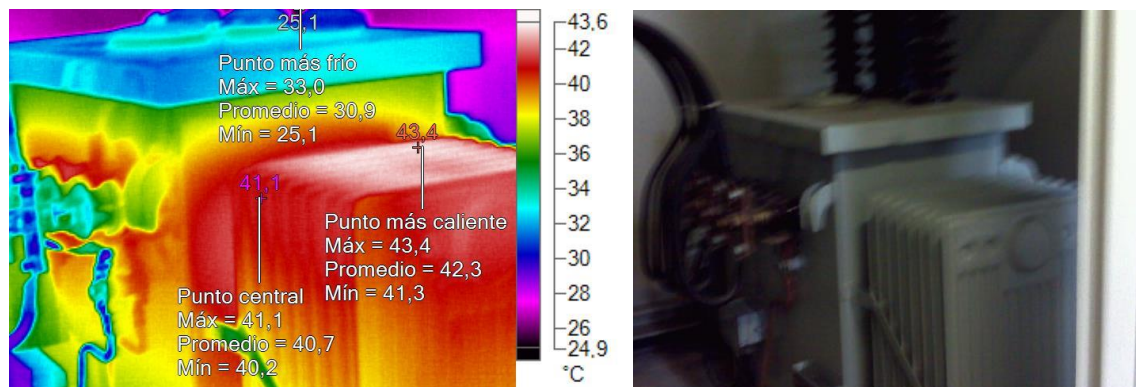
En el Cuadro 3 se encuentran los marcadores que indican cada uno de los valores obtenidos en la imagen térmica del transformador (punto central, punto más caliente y más frío).

En la Figura 54 está la gráfica 3D-IR y el Histograma. En la gráfica 3D-IR se puede observar en la parte inferior del gráfico la imagen de luz visible y encima su imagen térmica reflejada gráficamente, en ésta se ve el punto máximo, medio y mínimo de temperatura que se obtiene en la imagen capturada. En el histograma se muestra la cantidad de pixeles en función de la temperatura.

En el Cuadro 4 se encuentran los datos obtenidos en el análisis de la imagen térmica del transformador.

Según las tablas del fabricante de transformadores MAGNETRÓN las máximas pérdidas en el cobre se determinan a 85 °C (29). El punto más caliente en la termografía del transformador fue de 43,4 °C, por lo tanto se concluye que el transformador de la subestación de energía eléctrica no presenta sobrecalentamiento.

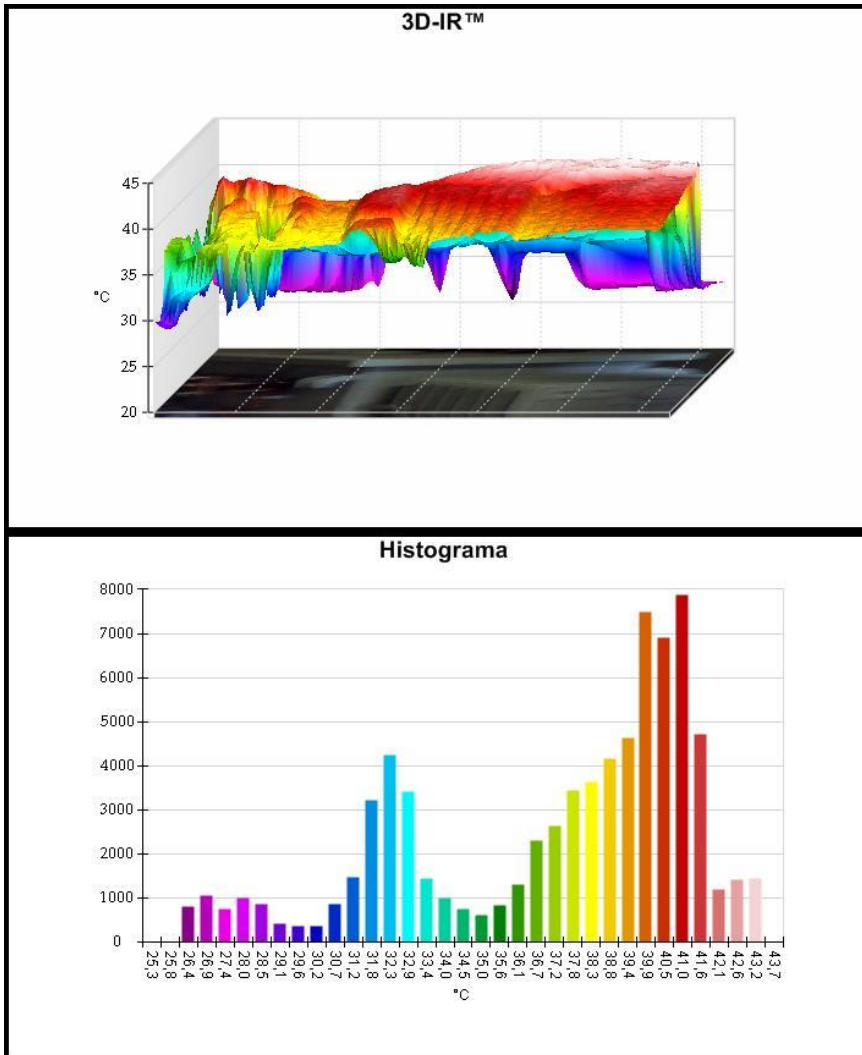
Figura 53. Imagen térmica e imagen de luz visible del transformador



Cuadro 3. Marcadores de la imagen térmica del transformador

Nombre	Promedio	Mínimo	Máximo	Emisividad	Segundo plano
Punto central	40,7°C	40,2°C	41,1°C	0,77	32,8°C
Punto más frío	30,9°C	25,1°C	33,0°C	0,77	32,8°C
Punto más caliente	42,3°C	41,3°C	43,4°C	0,77	32,8°C

Figura 54. Gráfica 3D-IR e Histograma del transformador



Cuadro 4. Información de la imagen térmica del transformador

Temperatura de fondo	32,8 °C
Emisividad	0,77
Transmisión	1,00
Temperatura promedio	37,2 °C
Rango de la imagen	25,1 °C a 43,4 °C
Modelo de cámara	Fluke Ti32
Tamaño de sensor IR	320 x 240
Número de serie de la cámara	Ti32-12080217 (9 Hz)
Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	21/05/2014 9:49:56

Rango de calibración	-10,0 °C a 600,0 °C
----------------------	---------------------

3.1.1. Entradas del transformador

En la Figura 55 se observan la imagen térmica e imagen de luz visible: (a) la imagen térmica con una paleta de colores denominada “alto contraste” y con marcadores para determinar el punto central, el punto más caliente y el más frío, y (b) la imagen de luz visible. El punto más caliente es de 42,4 °C ubicado en la parte de pasa-tapas de entrada.

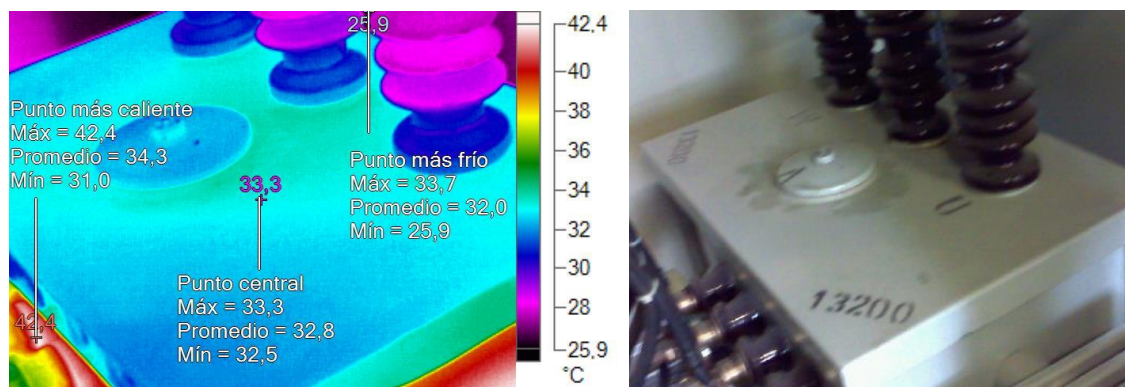
En el Cuadro 5 se encuentran los marcadores que indican cada uno de los valores obtenidos en la imagen térmica de las entradas del transformador (punto central, punto más caliente y más frío).

En la Figura 56 está la gráfica 3D-IR y el Histograma. En la gráfica 3D-IR se puede observar en la parte inferior del gráfico la imagen de luz visible y encima su imagen térmica reflejada gráficamente, en ésta se ve el punto máximo, medio y mínimo de temperatura que se obtiene en la imagen capturada. En el histograma se muestra la cantidad de pixeles en función de la temperatura.

En el Cuadro 6 se encuentran los datos obtenidos en el análisis de la imagen térmica de las entradas del transformador.

La temperatura del punto más caliente en las entradas del transformador fue de 42,4 °C éste valor es inferior a la máxima temperatura de funcionamiento (85 °C) para un transformador de 13200/208-120 V, 112,5 kVA, según las tablas del fabricante de transformadores MAGNETRÓN las máximas pérdidas en el cobre se determinan a 85 °C (29), por lo tanto se concluye que las entradas del transformador de la subestación de energía eléctrica no presentan sobrecalentamiento.

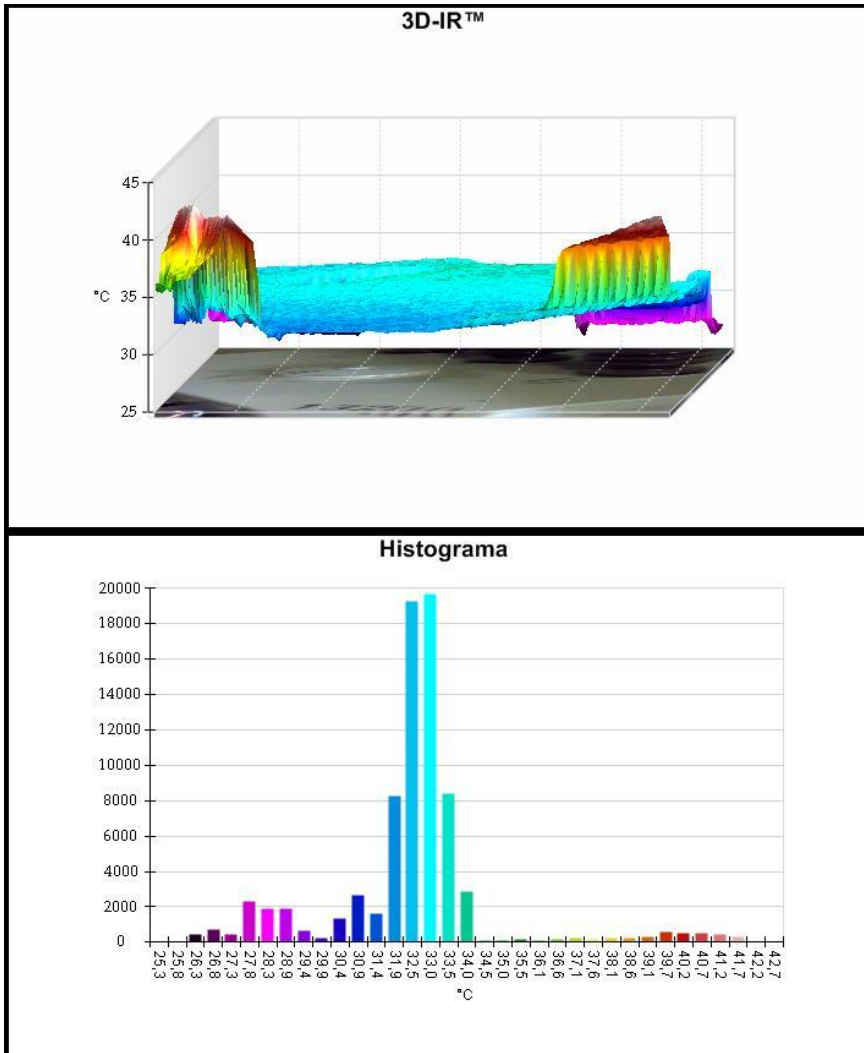
Figura 55. Imagen térmica e imagen de luz visible de las entradas del transformador



Cuadro 5. Marcadores de la imagen térmica entradas del transformador

Nombre	Promedio	Mínimo	Máximo	Emisividad	Segundo plano
Punto central	32,8°C	32,5°C	33,3°C	0,77	32,8°C
Punto más caliente	34,3°C	31,0°C	42,4°C	0,77	32,8°C
Punto más frío	32,0°C	25,9°C	33,7°C	0,77	32,8°C

Figura 56. Gráfica 3D-IR e Histograma de las entradas del transformador



Cuadro 6. Información de la imagen térmica entradas del transformador

Temperatura de fondo	32,8 °C
Emisividad	0,77
Transmisión	1,00
Temperatura promedio	32,5 °C
Rango de la imagen	25,9 °C a 42,4 °C
Modelo de cámara	Fluke Ti32
Tamaño de sensor IR	320 x 240
Número de serie de la cámara	Ti32-12080217 (9 Hz)
Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	21/05/2014 9:51:17
Rango de calibración	-10,0 °C a 600,0 °C

3.1.2. Salidas del transformador

En la Figura 57 se observan la imagen térmica e imagen de luz visible: (a) la imagen térmica con una paleta de colores denominada “alto contraste” y con marcadores para determinar el punto central, el punto más caliente y el más frío, y (b) la imagen de luz visible. El punto más caliente es de 42,4 °C ubicado en la parte de pasa-tapas de salida.

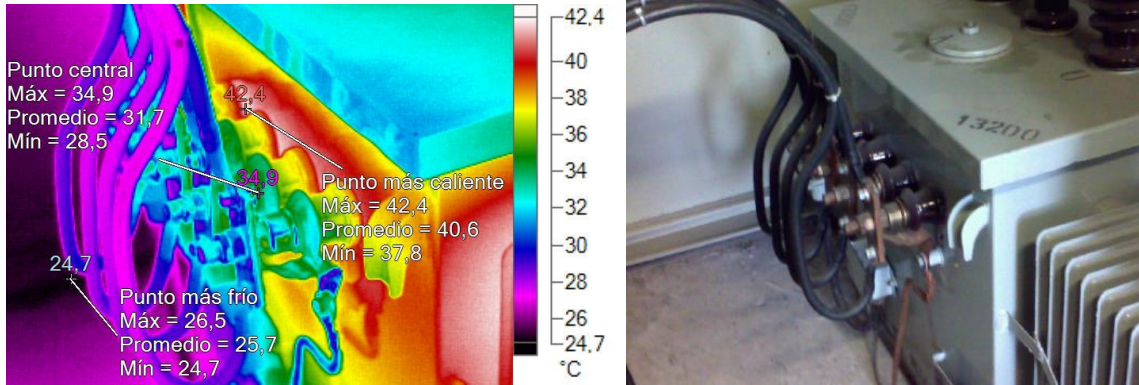
En el Cuadro 7 se encuentran los marcadores que indican cada uno de los valores obtenidos en la imagen térmica de las salidas del transformador (punto central, punto más caliente y más frío).

En la Figura 58 está la gráfica 3D-IR y el Histograma. En la gráfica 3D-IR se puede observar en la parte inferior del gráfico la imagen de luz visible y encima su imagen térmica reflejada gráficamente, en ésta se ve el punto máximo, medio y mínimo de temperatura que se obtiene en la imagen capturada. En el histograma se muestra la cantidad de pixeles en función de la temperatura.

En el Cuadro 8 se encuentran los datos obtenidos en el análisis de la imagen térmica de las salidas del transformador.

La temperatura del punto más caliente en las salidas del transformador fue de 42,4 °C éste valor es inferior a la máxima temperatura de funcionamiento (85 °C) para un transformador de 13200/208-120 V, 112,5 kVA, según las tablas del fabricante de transformadores MAGNETRÓN las máximas pérdidas en el cobre se determinan a 85 °C (29), por lo tanto se concluye que las entradas del transformador de la subestación de energía eléctrica no presentan sobrecalentamiento.

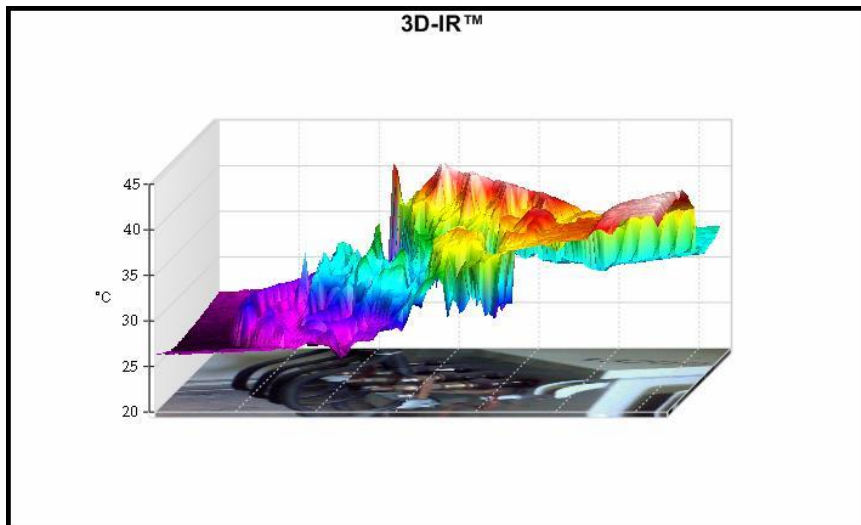
Figura 57. Imagen térmica e imagen de luz visible de las salidas del transformador

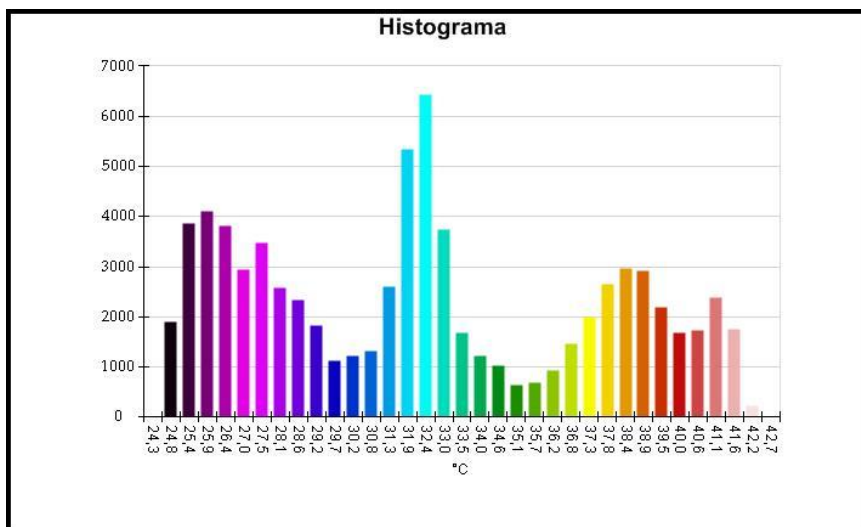


Cuadro 7. Marcadores de la imagen térmica salidas del transformador

Nombre	Promedio	Mínimo	Máximo	Emisividad	Segundo plano
Punto central	31,7°C	28,5°C	34,9°C	0,77	32,8°C
Punto más frío	25,7°C	24,7°C	26,5°C	0,77	32,8°C
Punto más caliente	40,6°C	37,8°C	42,4°C	0,77	32,8°C

Figura 58. Gráfica 3D-IR e Histograma de las salidas del transformador





Cuadro 8. Información de la imagen térmica salidas del transformador

Temperatura de fondo	32,8 °C
Emisividad	0,77
Transmisión	1,00
Temperatura promedio	32,4 °C
Rango de la imagen	24,7 °C a 42,4 °C
Modelo de cámara	Fluke Ti32
Tamaño de sensor IR	320 x 240
Número de serie de la cámara	Ti32-12080217 (9 Hz)
Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	21/05/2014 9:51:01
Rango de calibración	-10,0 °C a 600,0 °C

3.1.3. Conductores de las salidas del transformador

Para la medición termográfica de los conductores de las salidas del transformador se tomó una emisividad de 0,93 correspondiente al material de caucho.

En la Figura 59 se observan la imagen térmica e imagen de luz visible: (a) la imagen térmica con una paleta de colores denominada “alto contraste” y con marcadores para determinar el punto central, el punto más caliente y el más frío, y (b) la imagen de luz visible. El punto más caliente es de 38,8 °C ubicado en la parte del pasa tapas.

En el Cuadro 9 se encuentran los marcadores que indican cada uno de los valores obtenidos en la imagen térmica de los conductores de las salidas del transformador (punto central, punto más caliente y más frío).

En la Figura 60 está la gráfica 3D-IR y el Histograma. En la gráfica 3D-IR se puede observar en la parte inferior del gráfico la imagen de luz visible y encima su imagen térmica reflejada gráficamente, en ésta se ve el punto máximo, medio y mínimo de temperatura que se obtiene en la imagen capturada. En el histograma se muestra la cantidad de pixeles en función de la temperatura.

En el Cuadro 10 se encuentran los datos obtenidos en el análisis de la imagen térmica de los conductores de las salidas del transformador.

La temperatura del punto más caliente en los conductores de las salidas del transformador fue de 38,8 °C éste valor es inferior a la máxima temperatura del aislamiento de los conductores (75 °C) para un transformador de 13200/208-120 V, 112,5 kVA, según la Norma NTC 2050 (30). Los conductores de salida (baja tensión) del transformador tienen los siguientes datos:

$I=312,5$ A

Calibre=3/0 AWG

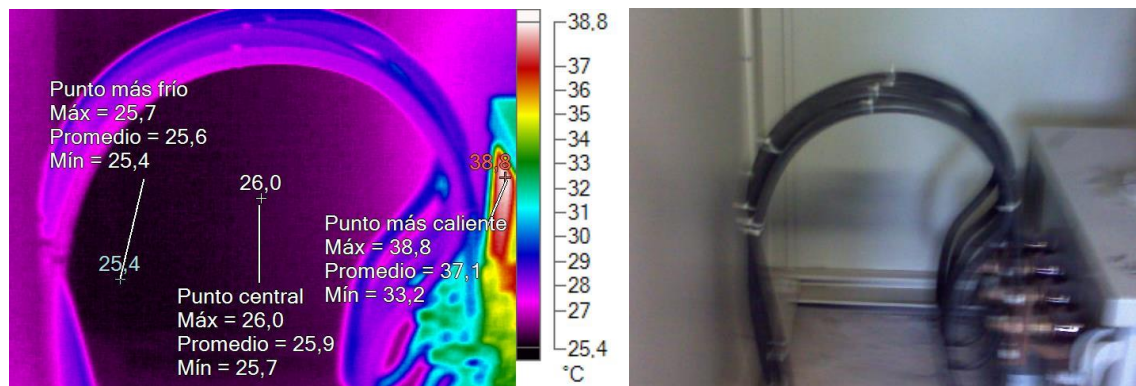
Tipo de aislamiento=THW

Capacidad de corriente=195 A

Temperatura en el conductor=75 °C

Por lo tanto se concluye que los conductores de las salidas del transformador de la subestación de energía eléctrica no presentan sobrecargas.

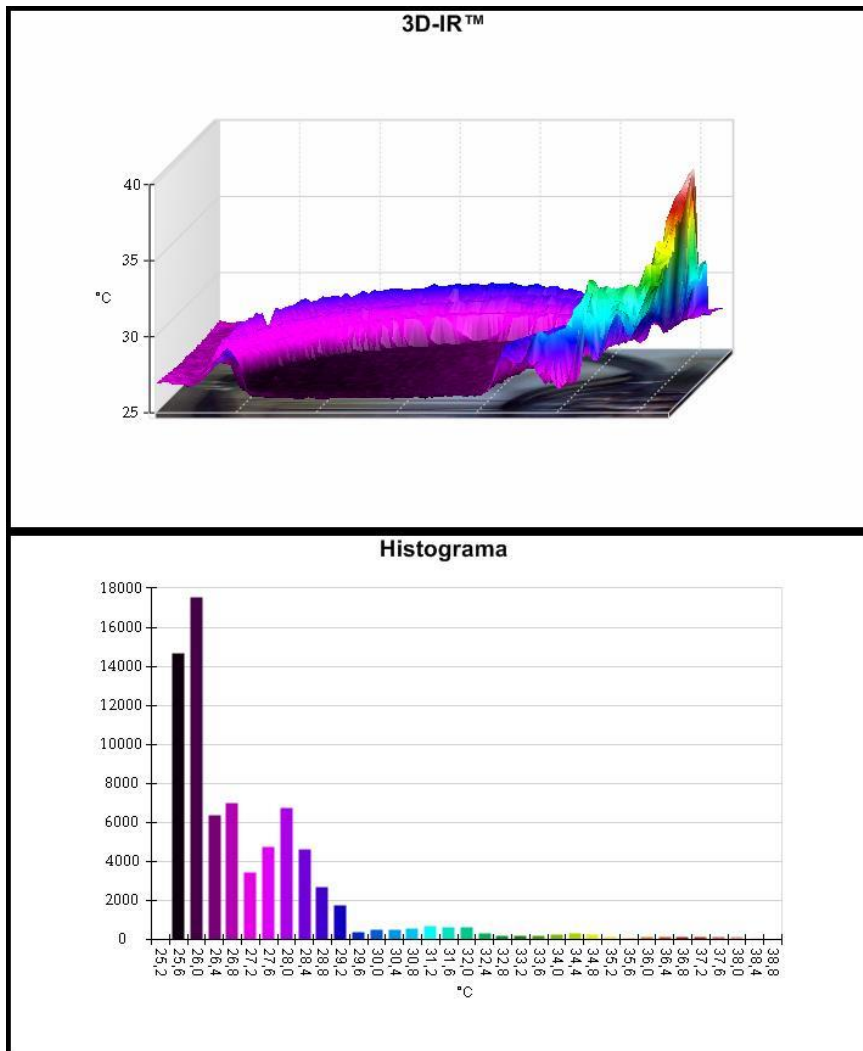
Figura 59. Imagen térmica e imagen de luz visible de los conductores de las salidas del transformador



Cuadro 9. Marcadores de la imagen térmica conductores de las salidas del transformador

Nombre	Promedio	Mínimo	Máximo	Emisividad	Segundo plano
Punto central	25,9°C	25,7°C	26,0°C	0,93	32,8°C
Punto más caliente	37,1°C	33,2°C	38,8°C	0,93	32,8°C
Punto más frío	25,6°C	25,4°C	25,7°C	0,93	32,8°C

Figura 60. Gráfica 3D-IR e Histograma de los conductores de las salidas del transformador



Cuadro 10. Información de la imagen térmica conductores de las salidas del transformador

Temperatura de fondo	32,8 °C
Emisividad	0,93
Transmisión	1,00
Temperatura promedio	27,3 °C
Rango de la imagen	25,4 °C a 38,8 °C
Modelo de cámara	Fluke Ti32
Tamaño de sensor IR	320 x 240
Número de serie de la cámara	Ti32-12080217 (9 Hz)
Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	21/05/2014 9:53:36
Rango de calibración	-10,0 °C a 600,0 °C

3.1.4. Conductores de las entradas del transformador

En la Figura 61 se observan la imagen térmica e imagen de luz visible: (a) la imagen térmica con una paleta de colores denominada “alto contraste” y con marcadores para determinar el punto central, el punto más caliente y el más frío, y (b) la imagen de luz visible. El punto más caliente es de 28,2 °C ubicado en la parte de las conexiones de entrada del transformador.

En el Cuadro 11 se encuentran los marcadores que indican cada uno de los valores obtenidos en la imagen térmica de los conductores de las entradas del transformador (punto central, punto más caliente y más frío).

En la Figura 62 está la gráfica 3D-IR y el Histograma. En la gráfica 3D-IR se puede observar en la parte inferior del gráfico la imagen de luz visible y encima su imagen térmica reflejada gráficamente, en ésta se ve el punto máximo, medio y mínimo de temperatura que se obtiene en la imagen capturada. En el histograma se muestra la cantidad de pixeles en función de la temperatura.

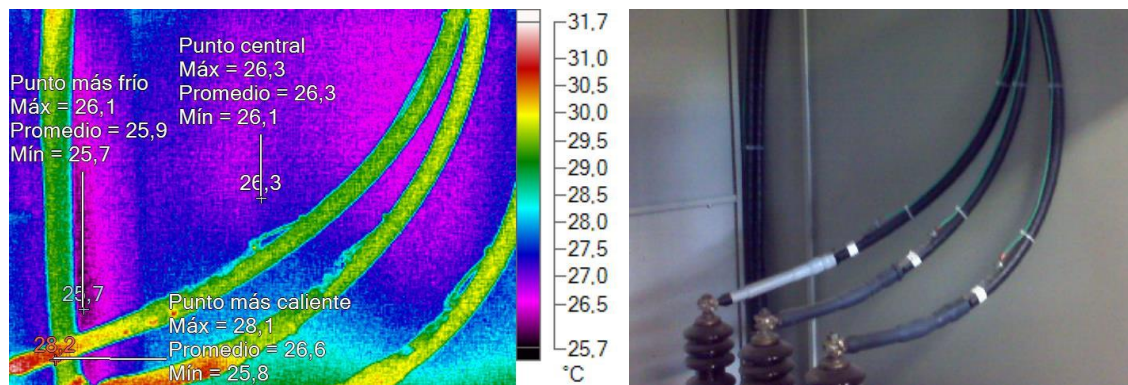
En el Cuadro 12 se encuentran los datos obtenidos en el análisis de la imagen térmica de los conductores de las entradas del transformador.

La temperatura del punto más caliente en los conductores de las entradas del transformador fue de 28,2 °C éste valor es inferior a la máxima temperatura del aislamiento de los conductores (90 °C) para un transformador de 13200/208-120 V, 112,5 kVA, según CENTELSA los conductores de entrada (media tensión) del transformador son cable seco y tienen las siguientes características (31):

$I=4,92\text{ A}$
 Calibre=4/0 AWG
 Tipo de aislamiento=Polietileno reticulado XLPE
 Tensión de operación=5 kV
 Temperatura de operación=90 °C

Por lo tanto se concluye que los conductores de las entradas del transformador de la subestación de energía eléctrica no presentan sobrecargas.

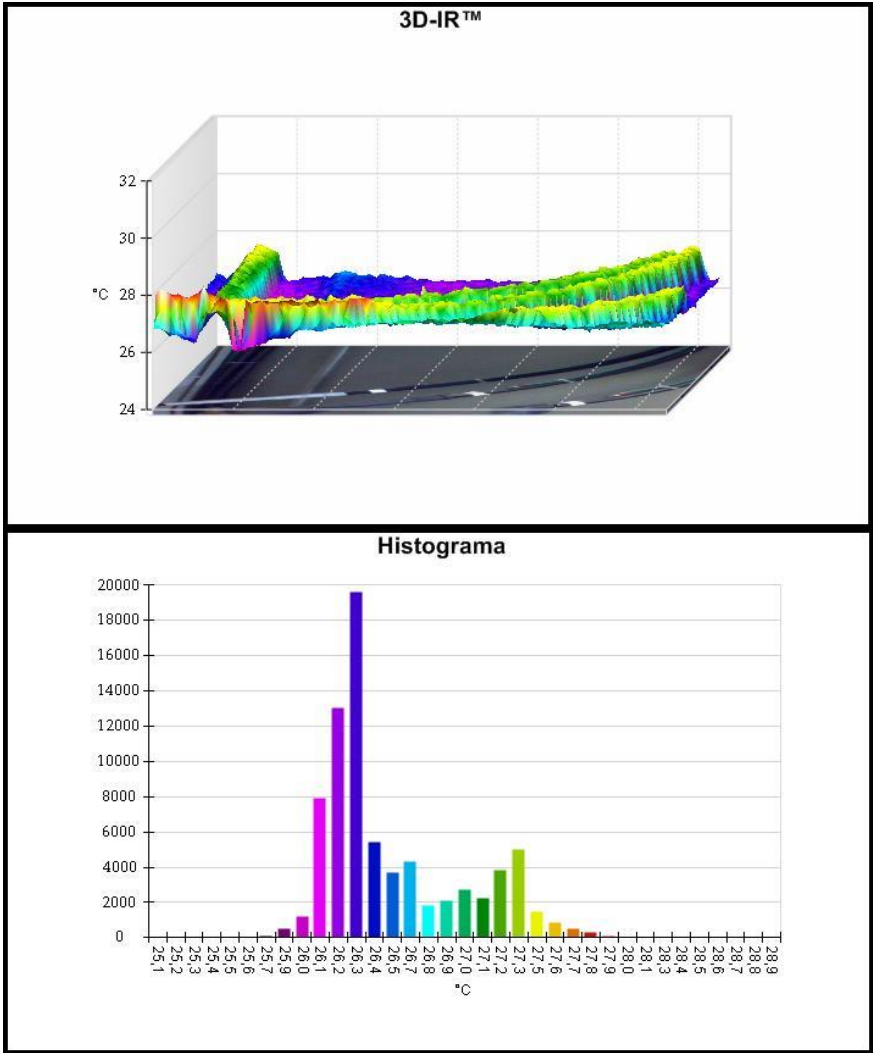
Figura 61. Imagen térmica e imagen de luz visible de los conductores de las entradas del transformador



Cuadro 11. Marcadores de la imagen térmica conductores de las entradas del transformador

Nombre	Promedio	Mínimo	Máximo	Emisividad	Segundo plano
Punto más caliente	26,6°C	25,8°C	28,2°C	0,93	32,8°C
Punto más frío	25,9°C	25,7°C	26,1°C	0,93	32,8°C
Punto central	26,3°C	26,1°C	26,3°C	0,93	32,8°C

Figura 62. Gráfica 3D-IR e Histograma de los conductores de las entradas del transformador



Cuadro 12. Información de la imagen térmica conductores de las entradas del transformador

Temperatura de fondo	32,8 °C
Emisividad	0,93
Transmisión	1,00
Temperatura promedio	26,5 °C
Rango de la imagen	25,7 °C a 28,2 °C
Modelo de cámara	Fluke Ti32
Tamaño de sensor IR	320 x 240
Número de serie de la cámara	Ti32-12080217 (9 Hz)
Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	21/05/2014 9:55:28
Rango de calibración	-10,0 °C a 600,0 °C

3.2. TABLERO GENERAL DE PROTECCIONES

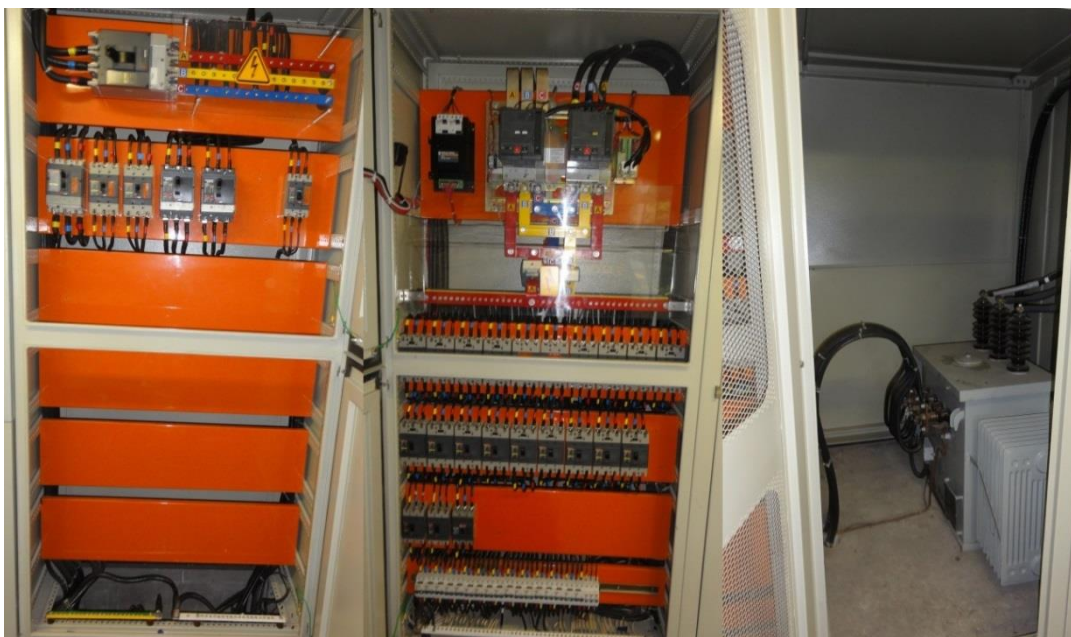
Listado de totalizadores generales e interruptores de alimentación tipo industrial (ver la Tabla 3):

Tabla 3. Totalizadores generales e interruptores de alimentación

NOMBRE	TENSIÓN	CORRIENTE	FRECUENCIA	CATEGORÍA
Totalizador general tipo industrial	220/240 V	I _{cs} =25%I _{cu}	50-60 Hz	A
	208/277 V		60 Hz	
TN-1	220/240 V	60 A	60 Hz	A
TN-2	220/240 V	60 A	60 Hz	A
TN-3	220/240 V	60 A	60 Hz	A
TN-4	220/240 V	100 A	60 Hz	A
TN-5	220/240 V	60 A	60 Hz	A
TN-6	220/240 V	60 A	60 Hz	A
TN-7	220/240 V	60 A	60 Hz	A
TN-8	220/240 V	60 A	60 Hz	A
TN-9	220/240 V	60 A	60 Hz	A
TN-10	220/240 V	60 A	60 Hz	A
TN-11	220/240 V	60 A	60 Hz	A
TN-12	220/240 V	60 A	60 Hz	A
TN-13	220/240 V	60 A	60 Hz	A
TN-14	220/240 V	100 A	60 Hz	A
TN-15	220/240 V	100 A	60 Hz	A
TN-16	220/240 V	60 A	60 Hz	A
TN-17	220/240 V	100 A	60 Hz	A

NOMBRE	TENSIÓN	CORRIENTE	FRECUENCIA	CATEGORÍA
Alumbrado piso 2	220/240 V	100 A	60 Hz	A
Tomas piso 2	220/240 V	100 A	60 Hz	A
Bienestar	220/240 V	80 A	50-60 Hz	
Totalizador general de tipo industrial	220/240 V	$I_r=300$ A	60 Hz	A
Laboratorio de máquinas	220/240 V	150 A	60 Hz	A
Carpintería	220/240 V	100 A	60 Hz	A
Cafetería	220/240 V	100 A	60 Hz	A
Reserva	220/240 V	50 A	60 Hz	A

Figura 63. Subestación de energía eléctrica del edificio 1, bloque B-BB, piso 0-P0



El 21 de mayo de 2014 se realizaron varias mediciones termográficas y se encontraron varios puntos calientes en los siguientes totalizadores de alimentación y el totalizador general tipo industrial:

- Totalizador general categoría A
- Totalizador de alimentación alumbrado piso 2
- Totalizador de alimentación tomas piso 2
- Totalizador de alimentación bienestar
- Totalizador de alimentación cafetería

3.2.1. Totalizador general categoría A

Para la medición termográfica del totalizador general se tomó una emisividad de 0,93 correspondiente al material de caucho.

Figura 64. Totalizador general categoría A



En la Figura 65 se observan la imagen térmica e imagen de luz visible: (a) la imagen térmica con una paleta de colores denominada “alto contraste” y con marcadores para determinar el punto central, el punto más caliente y el más frío, y (b) la imagen de luz visible. El punto más caliente es de 27,3 °C ubicado en la parte de la plaqueta metálica.

En el Cuadro 13 se encuentran los marcadores que indican cada uno de los valores obtenidos en la imagen térmica del totalizador general categoría A (punto central, punto más caliente y más frío).

En la

Figura 66 está la gráfica 3D-IR y el Histograma. En la gráfica 3D-IR se puede observar en la parte inferior del gráfico la imagen de luz visible y encima su imagen térmica reflejada gráficamente, en ésta se ve el punto máximo, medio y mínimo de temperatura que se obtiene en la imagen capturada. En el histograma se muestra la cantidad de pixeles en función de la temperatura.

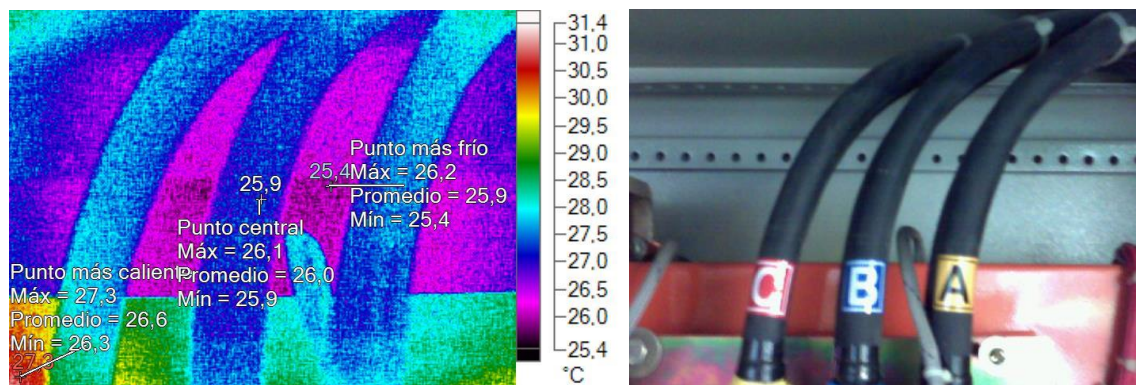
En el Cuadro 14 se encuentran los datos obtenidos en el análisis de la imagen térmica del totalizador general categoría A.

Los conductores del totalizador general tienen las siguientes características, según la Norma NTC 2050 (30):

- Ics=25%Icu
- Calibre=4/0 AWG
- Tipo de aislamiento=THW
- Capacidad de corriente=230 A
- Temperatura en el conductor=75 °C

Por lo tanto, no hay ninguna gravedad, porque no se encontró ningún punto caliente en los conductores. Sin embargo hay un punto caliente de 27,3 °C en la plaqueta metálica lo cual tampoco indica algún peligro, pero es importante aclarar que los metales brillantes tienen baja emisividad.

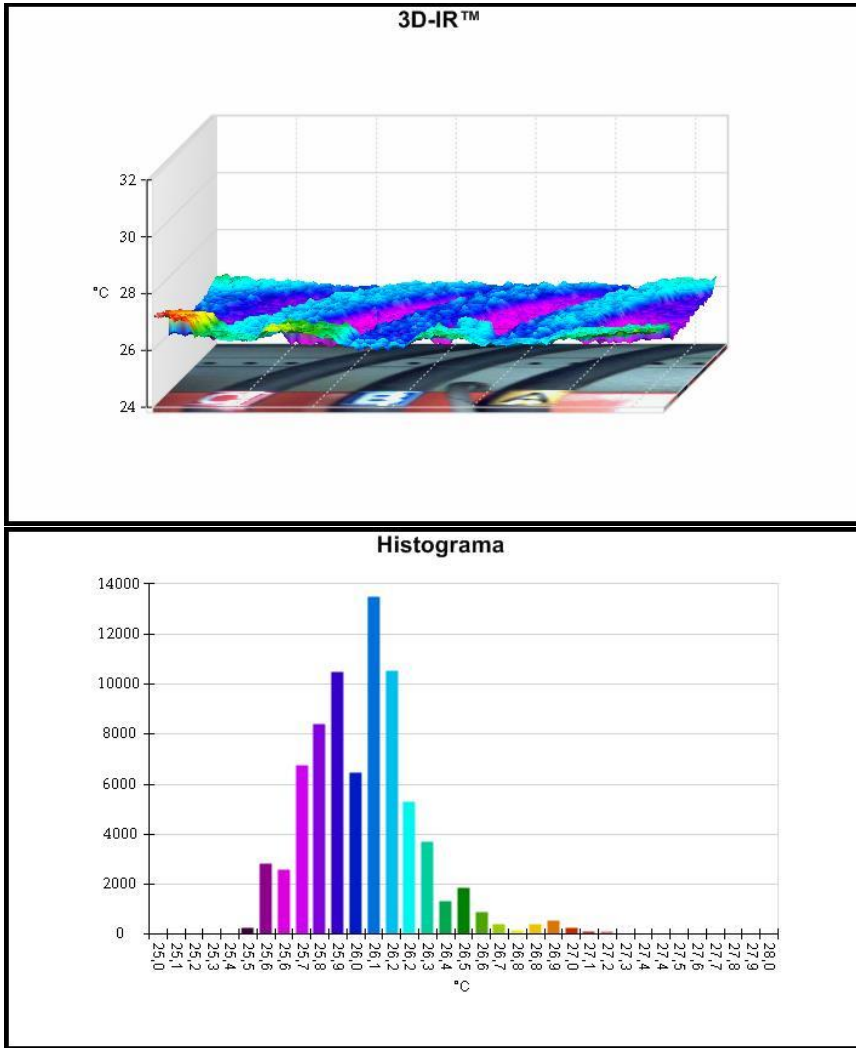
Figura 65. Imagen térmica e imagen de luz visible del totalizador general categoría A



Cuadro 13. Marcadores de la imagen térmica del totalizador general categoría A

Nombre	Promedio	Mínimo	Máximo	Emisividad	Segundo plano
Punto más caliente	26,6°C	26,3°C	27,3°C	0,93	32,8°C
Punto central	26,0°C	25,9°C	26,1°C	0,93	32,8°C
Punto más frío	25,9°C	25,4°C	26,2°C	0,93	32,8°C

Figura 66. Gráfica 3D-IR e Histograma del totalizador general categoría A



Cuadro 14. Información de la imagen térmica totalizador general categoría A

Temperatura de fondo	32,8 °C
Emisividad	0,93
Transmisión	1,00
Temperatura promedio	26,0 °C
Rango de la imagen	25,4 °C a 27,3 °C
Modelo de cámara	Fluke Ti32
Tamaño de sensor IR	320 x 240
Número de serie de la cámara	Ti32-12080217 (9 Hz)

Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	21/05/2014 10:00:57
Rango de calibración	-10,0 °C a 600,0 °C

3.2.2. Totalizador de alimentación alumbrado piso 2

Para la medición termográfica del interruptor del alumbrado piso 2 se tomó una emisividad de 0,93 correspondiente al material de caucho.

Figura 67. Totalizador de alimentación alumbrado piso 2



En la Figura 68 se observan la imagen térmica e imagen de luz visible: (a) la imagen térmica con una paleta de colores denominada “alto contraste” y con marcadores para determinar el punto central, el punto más caliente y el más frío, y (b) la imagen de luz visible. El punto más caliente es de 33,9 °C ubicado en la fase azul.

En el

Cuadro 15 se encuentran los marcadores que indican cada uno de los valores obtenidos en la imagen térmica del interruptor del alumbrado piso 2 (punto central, punto más caliente y más frío).

En la Figura 69 está la gráfica 3D-IR y el Histograma. En la gráfica 3D-IR se puede observar en la parte inferior del gráfico la imagen de luz visible y encima su imagen térmica reflejada gráficamente, en ésta se ve el punto máximo, medio y mínimo de temperatura que se obtiene en la imagen capturada. En el histograma se muestra la cantidad de pixeles en función de la temperatura.

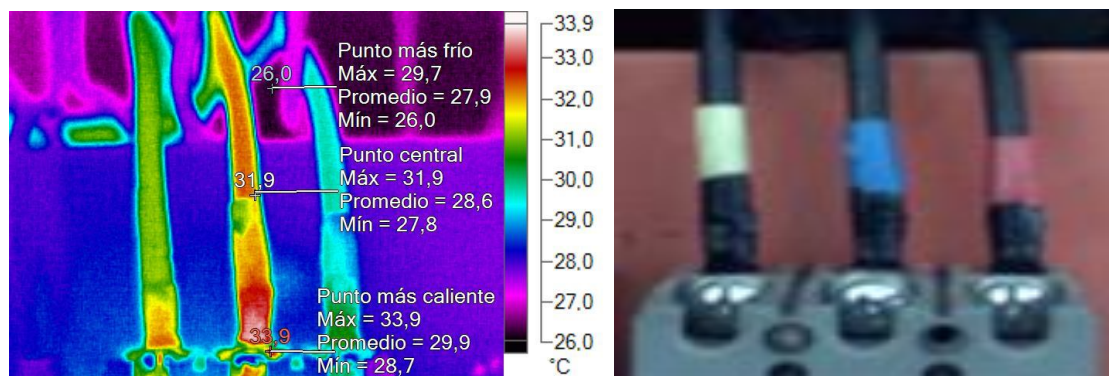
En el Cuadro 16 se encuentran los datos obtenidos en el análisis de la imagen térmica del interruptor del alumbrado piso 2.

Los conductores del interruptor alumbrado piso 2 tienen las siguientes características, según la NTC 2050 (30):

Calibre=2 AWG
Tipo de aislamiento=THW
Capacidad de corriente=115 A
Temperatura en el conductor=75 °C
Resistencia Eléctrica c.c. a 20 °C=0,659 Ω/km

Aunque su conductor de entrada este evidentemente caliente, las temperaturas registradas son normales para este tipo de carga. Por lo tanto, se encuentran bien, ya que su punto más caliente fue de 33,9 °C y es inferior a la temperatura del aislamiento del conductor. Sin embargo en la fase azul se encuentra una conexión dilatada, por ende se requiere ajustar el tornillo ubicado en dicha fase.

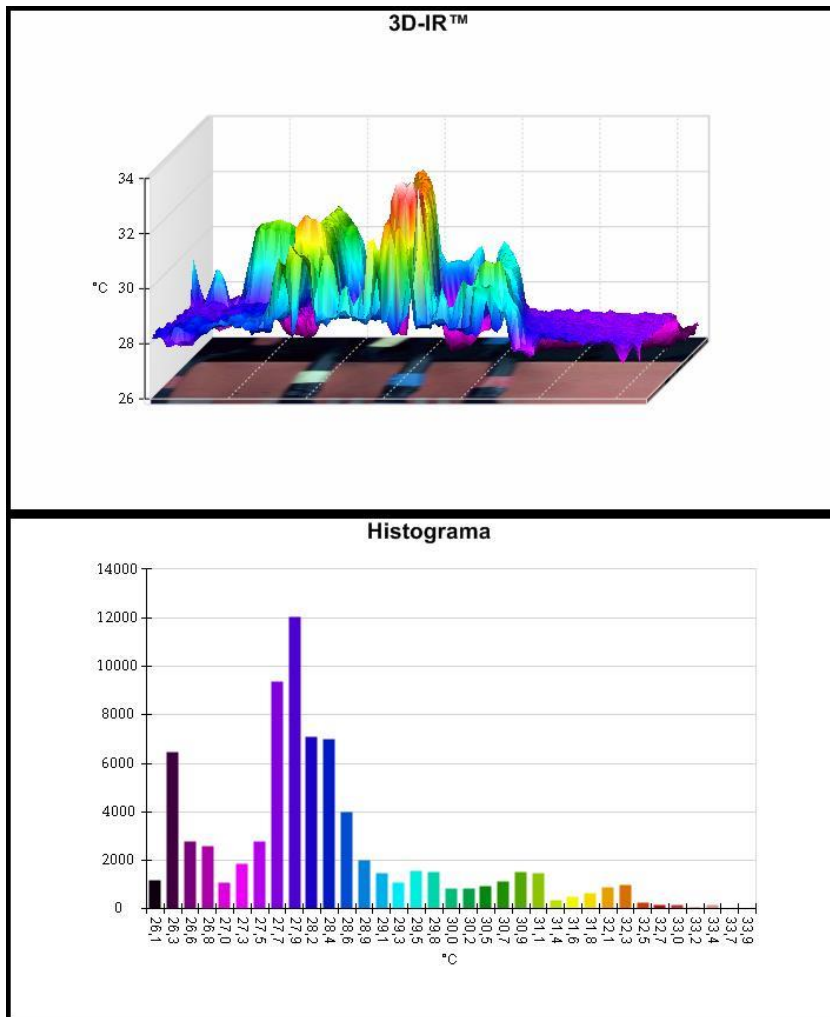
Figura 68. Imagen térmica e imagen de luz visible del interruptor alumbrado piso 2



Cuadro 15. Marcadores de la imagen térmica del interruptor alumbrado piso 2

Nombre	Promedio	Mínimo	Máximo	Emisividad	Segundo plano
Punto central	28,6°C	27,8°C	31,9°C	0,93	32,8°C
Punto más frío	27,9°C	26,0°C	29,7°C	0,93	32,8°C
Punto más caliente	29,9°C	28,7°C	33,9°C	0,93	32,8°C

Figura 69. Gráfica 3D-IR e Histograma del interruptor alumbrado piso 2



Cuadro 16. Información de la imagen térmica del interruptor alumbrado piso 2

Temperatura de fondo	32,8 °C
Emisividad	0,93
Transmisión	1,00
Temperatura promedio	28,3 °C
Rango de la imagen	26,0 °C a 33,9 °C
Modelo de cámara	Fluke Ti32

Tamaño de sensor IR	320 x 240
Número de serie de la cámara	Ti32-12080217 (9 Hz)
Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	21/05/2014 10:25:04
Rango de calibración	-10,0 °C a 600,0 °C

3.2.3. Totalizador de alimentación tomas piso 2

Para la medición termográfica del interruptor de tomas piso 2 se tomó una emisividad de 0,93 correspondiente al material de caucho.

Figura 70. Totalizador de alimentación tomas piso 2



En la Figura 71 se observan la imagen térmica e imagen de luz visible: (a) la imagen térmica con una paleta de colores denominada “alto contraste” y con marcadores para determinar el punto central, el punto más caliente y el más frío, y (b) la imagen de luz visible. El punto más caliente es de 33,2 °C ubicado en la fase roja.

En el

Cuadro 17 se encuentran los marcadores que indican cada uno de los valores obtenidos en la imagen térmica del interruptor de tomas piso 2 (punto central, punto más caliente y más frío).

En la

Figura 72 está la gráfica 3D-IR y el Histograma. En la gráfica 3D-IR se puede observar en la parte inferior del gráfico la imagen de luz visible y encima su imagen térmica reflejada gráficamente, en ésta se ve el punto máximo, medio y mínimo de temperatura que se obtiene en la imagen capturada. En el histograma se muestra la cantidad de pixeles en función de la temperatura.

En el Cuadro 18 se encuentran los datos obtenidos en el análisis de la imagen térmica del interruptor de tomas piso 2.

Los conductores del interruptor tomas piso 2 tienen las siguientes características, según la NTC 2050 (30):

Calibre=2 AWG

Tipo de aislamiento=THW

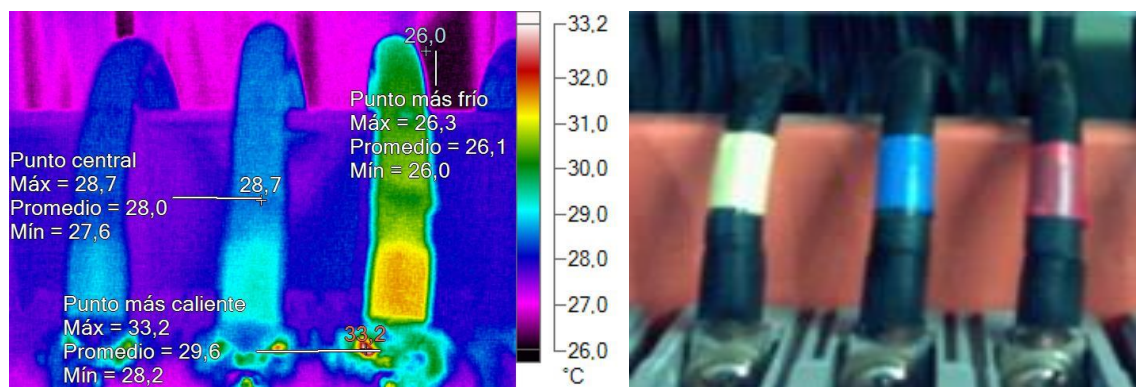
Capacidad de corriente=115 A

Temperatura en el conductor=75 °C

Resistencia Eléctrica c.c. a 20 °C=0,659 Ω /km

Por lo tanto no hay sobrecargas en los conductores, ya que su punto más caliente fue de 33,2 °C y es inferior a la temperatura en el conductor. Sin embargo en la fase roja se encuentra una conexión dilatada, por ende se requiere ajustar el tornillo ubicado en dicha fase, y aunque su conductor de entrada esté evidentemente caliente, las temperaturas registradas son normales para este tipo de carga.

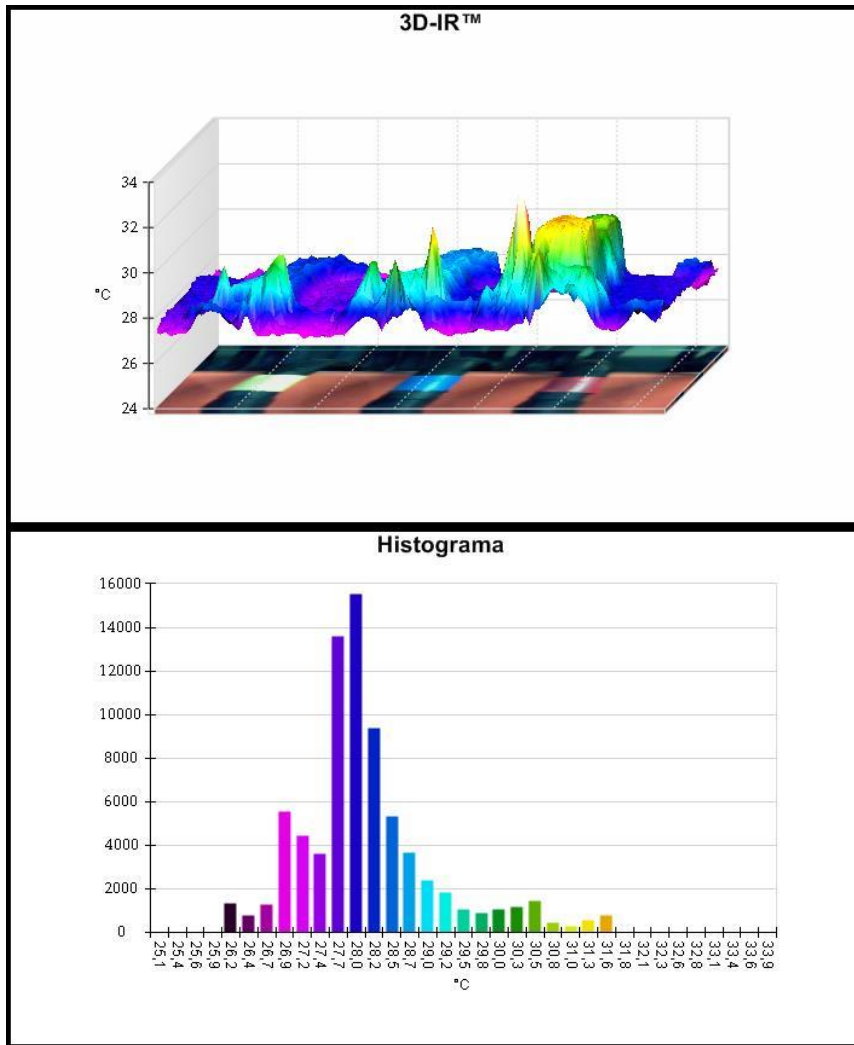
Figura 71. Imagen térmica e imagen de luz visible del interruptor tomas piso 2



Cuadro 17. Marcadores de la imagen térmica del interruptor tomas piso 2

Nombre	Promedio	Mínimo	Máximo	Emisividad	Segundo plano
Punto central	28,0°C	27,6°C	28,7°C	0,93	32,8°C
Punto más frío	26,1°C	26,0°C	26,3°C	0,93	32,8°C
Punto más caliente	29,6°C	28,2°C	33,2°C	0,93	32,8°C

Figura 72. Gráfica 3D-IR e Histograma del interruptor tomas piso 2



Cuadro 18. Información de la imagen térmica del interruptor tomas piso 2

Temperatura de fondo	32,8 °C
Emisividad	0,93
Transmisión	1,00

Temperatura promedio	28,1 °C
Rango de la imagen	26,0 °C a 33,2 °C
Modelo de cámara	Fluke Ti32
Tamaño de sensor IR	320 x 240
Número de serie de la cámara	Ti32-12080217 (9 Hz)
Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	21/05/2014 10:14:29
Rango de calibración	-10,0 °C a 600,0 °C

3.2.4. Totalizador de alimentación bienestar

Para la medición termográfica del interruptor de bienestar se tomó una emisividad de 0,93 correspondiente al material de caucho.

Figura 73. Totalizador de alimentación bienestar



En la Figura 74 se observan la imagen térmica e imagen de luz visible: (a) la imagen térmica con una paleta de colores denominada “alto contraste” y con marcadores para determinar el punto central, el punto más caliente y el más frío, y (b) la imagen de luz visible. El punto más caliente es de 34,3 °C ubicado en la fase azul.

En el

Cuadro 19 se encuentran los marcadores que indican cada uno de los valores obtenidos en la imagen térmica del interruptor de bienestar (punto central, punto más caliente y más frío).

En la

Figura 75 está la gráfica 3D-IR y el Histograma. En la gráfica 3D-IR se puede observar en la parte inferior del gráfico la imagen de luz visible y encima su imagen térmica reflejada gráficamente, en ésta se ve el punto máximo, medio y mínimo de temperatura que se obtiene en la imagen capturada. En el histograma se muestra la cantidad de pixeles en función de la temperatura.

En el Cuadro 20 se encuentran los datos obtenidos en el análisis de la imagen térmica del interruptor de bienestar.

Los conductores del interruptor de bienestar tienen las siguientes características, según la NTC 2050 (30):

Calibre=6 AWG

Tipo de aislamiento=THW

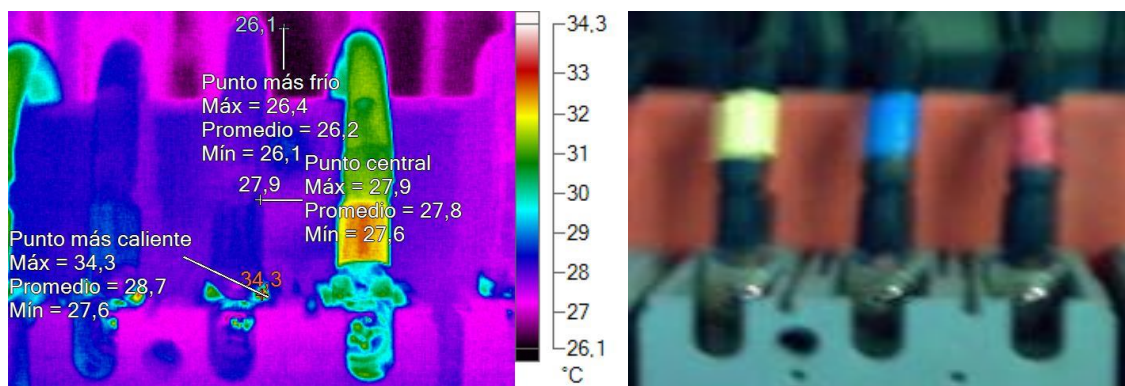
Capacidad de corriente=65 A

Temperatura en el conductor=75 °C

Resistencia Eléctrica c.c. a 20 °C=1,32 Ω/km

Por lo tanto, no hay sobrecargas en los conductores, ya que su punto más caliente fue de 34,3 °C y no supera la temperatura en el conductor. Sin embargo en la fase azul se encuentra una conexión dilatada, por ende se requiere ajustar el tornillo ubicado en dicha fase, y aunque la fase roja este evidentemente caliente, las temperaturas registradas son normales para este tipo de carga.

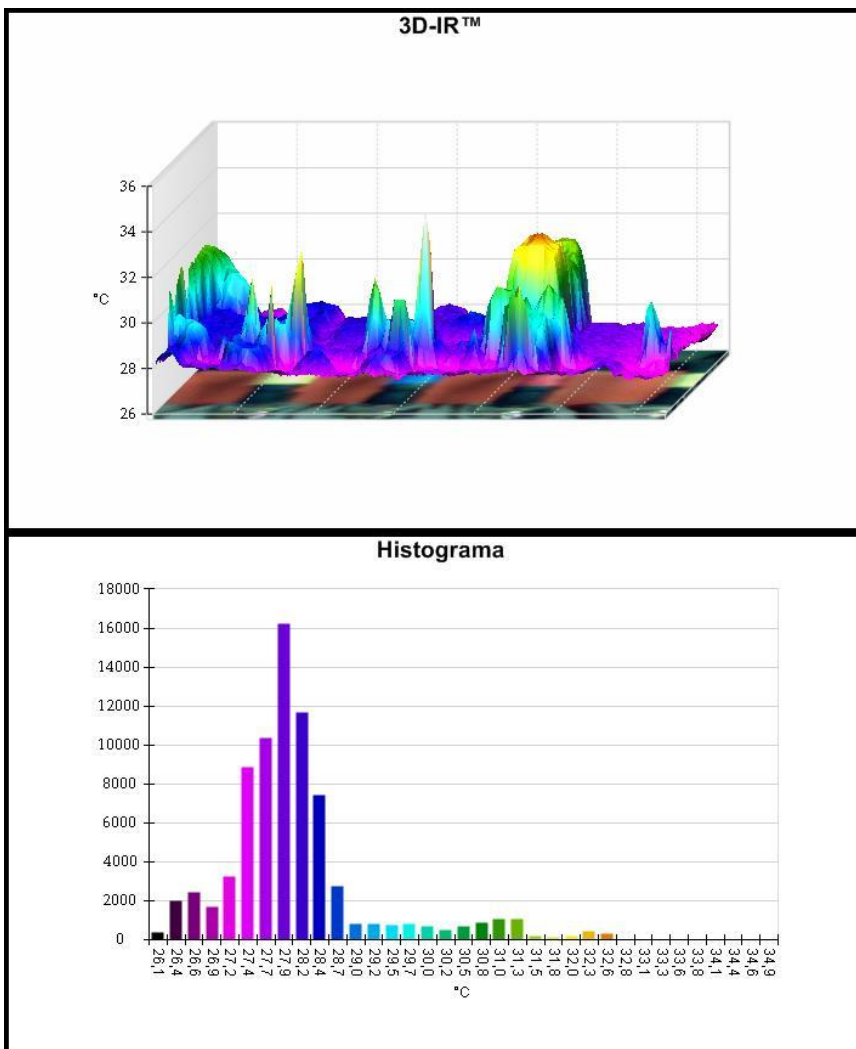
Figura 74. Imagen térmica e imagen de luz visible del interruptor de bienestar



Cuadro 19. Marcadores de la imagen térmica del interruptor de bienestar

Nombre	Promedio	Mínimo	Máximo	Emisividad	Segundo plano
Punto más frío	26,2°C	26,1°C	26,4°C	0,93	32,8°C
Punto central	27,8°C	27,6°C	27,9°C	0,93	32,8°C
Punto más caliente	28,7°C	27,6°C	34,3°C	0,93	32,8°C

Figura 75. Gráfica 3D-IR e Histograma del interruptor de bienestar



Cuadro 20. Información de la imagen térmica del interruptor de bienestar

Temperatura de fondo	32,8 °C
Emisividad	0,93
Transmisión	1,00
Temperatura promedio	28,1 °C
Rango de la imagen	26,1 °C a 34,3 °C
Modelo de cámara	Fluke Ti32
Tamaño de sensor IR	320 x 240
Número de serie de la cámara	Ti32-12080217 (9Hz)
Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	21/05/2014 10:16:54
Rango de calibración	-10,0 °C a 600,0 °C

3.2.5. Totalizador de alimentación cafetería

Para la medición termográfica del interruptor de cafetería se tomó una emisividad de 0,93 correspondiente al material de caucho.

Figura 76. Totalizador de alimentación cafetería



En la Figura 77 se observan la imagen térmica e imagen de luz visible: (a) la imagen térmica con una paleta de colores denominada “alto contraste” y con marcadores para determinar el punto central, el punto más caliente y el más frío, y (b) la imagen de luz visible. El punto más caliente es de 30,7 °C ubicado en la fase roja.

En el Cuadro 21 se encuentran los marcadores que indican cada uno de los valores obtenidos en la imagen térmica del interruptor de cafetería (punto central, punto más caliente y más frío).

En la

Figura 78 está la gráfica 3D-IR y el Histograma. En la gráfica 3D-IR se puede observar en la parte inferior del gráfico la imagen de luz visible y encima su imagen térmica reflejada gráficamente, en ésta se ve el punto máximo, medio y mínimo de temperatura que se obtiene en la imagen capturada. En el histograma se muestra la cantidad de pixeles en función de la temperatura.

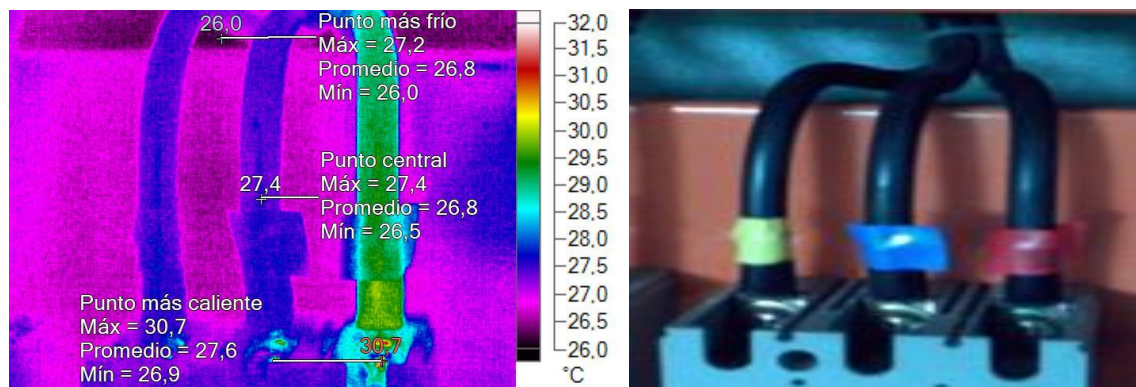
En el Cuadro 22 se encuentran los datos obtenidos en el análisis de la imagen térmica del interruptor de cafetería.

Los conductores del interruptor de cafetería tienen las siguientes características, según la NTC 2050 (30):

Calibre=2 AWG
 Tipo de aislamiento=THW
 Capacidad de corriente=115 A
 Temperatura en el conductor=75 °C
 Resistencia Eléctrica c.c. a 20 °C=0,659 Ω/km

Por lo tanto, no hay sobrecargas en los conductores, ya que su punto más caliente fue de 30,7 °C y es inferior a la temperatura en el conductor (75 °C). Sin embargo en la fase roja se encuentra una conexión dilatada, por ende se requiere ajustar el tornillo ubicado en dicha fase.

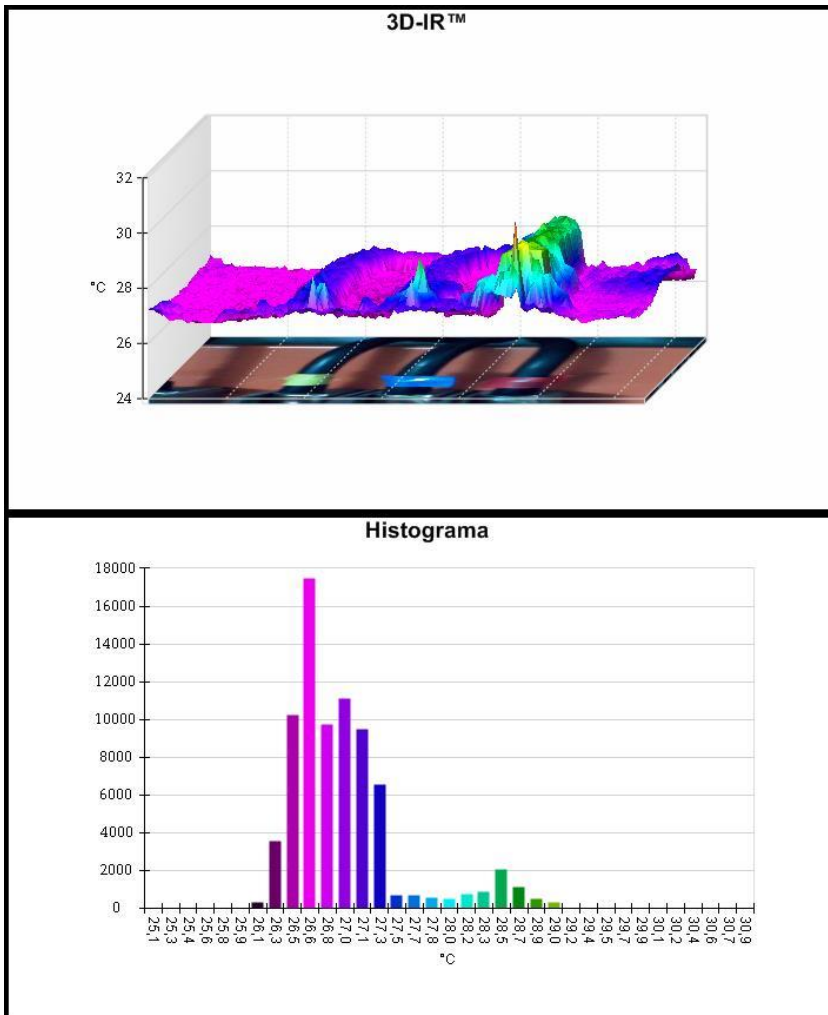
Figura 77. Imagen térmica e imagen de luz visible del interruptor de cafetería



Cuadro 21. Marcadores de la imagen térmica del interruptor de cafetería

Nombre	Promedio	Mínimo	Máximo	Emisividad	Segundo plano
Punto central	26,8°C	26,5°C	27,4°C	0,93	32,8°C
Punto más frío	26,8°C	26,0°C	27,2°C	0,93	32,8°C
Punto más caliente	27,6°C	26,9°C	30,7°C	0,93	32,8°C

Figura 78. Gráfica 3D-IR e Histograma del interruptor de cafetería



Cuadro 22. Información de la imagen térmica del interruptor de cafetería

Temperatura de fondo	32,8 °C
Emisividad	0,93
Transmisión	1,00
Temperatura promedio	27,0 °C
Rango de la imagen	26,0 °C a 30,7 °C
Modelo de cámara	Fluke Ti32
Tamaño de sensor IR	320 x 240
Número de serie de la cámara	Ti32-12080217 (9 Hz)
Fabricante	Fluke Thermography
Hora de la imagen	21/05/2014 10:32:58
Rango de calibración	-10,0 °C a 600,0 °C

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.
- 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 a ser inspeccionado, ya que dependiendo de sus características se pueden obtener resultados positivos o negativos del estado en que se encuentra. En este caso se analizó el transformador de la subestación de energía eléctrica, el cual soporta una temperatura de funcionamiento de 85 °C y según la termografía, el punto más caliente fue de 43,4 °C, por lo tanto se concluye que el transformador de la subestación de energía eléctrica no presenta sobrecalentamiento.
- 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.
- Con los resultados obtenidos en el diagnóstico de la subestación de energía eléctrica realizados con la cámara térmica Fluke TI32, no se detectó ningún problema de sobrecalentamientos o sobrecargas porque todas las temperaturas medidas con la cámara térmica son inferiores a las temperaturas máximas que pueden soportar el transformador, los totalizadores y los conductores.

5. RECOMENDACIONES

En el diagnóstico que se realizó en la subestación de energía eléctrica del edificio 1, bloque B-BB, piso 0-P0 de la Universidad Tecnológica de Pereira, se encontraron conexiones dilatadas en algunas de las fases de los interruptores de alimentación. Por consiguiente, es recomendable realizar un mantenimiento en conexiones y ajustes en los tornillos, aproximadamente cada 6 meses.

BIBLIOGRAFÍA

1. Introducción a los principios de la termografía. [En línea] 2009. [Citado el: 25 de abril de 2014.] 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 2013.] 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 2013.] Disponible en internet: <<http://www.astromia.com/glosario/bolometro.htm>>.
4. Efecto Compton. *Wikipedia* . [En línea] 29 de abril de 2014. [Citado el: 3 de mayo de 2014.] Disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Compton>.
5. Efecto fotoeléctrico. *Ojo Científico*. [En línea] [Citado el: 29 de abril de 2014.] 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 2013.] 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 2013.] Disponible en internet: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Emisividad>>.
8. Evaporígrafo. [En línea] 21 de octubre de 2010. [Citado el: 2 de septiembre de 2013.] Disponible en internet: <<http://www.wikiteka.com/apuntes/clima-22/>>.
9. Fotoconductor. [En línea] [Citado el: 2 de septiembre de 2013.] Disponible en internet: <<http://servicios.elpais.com/diccionarios/castellano/fotoconductor>>.
10. Fotón. [En línea] [Citado el: 2 de septiembre de 2013.] 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 2014.] Disponible en internet: <<http://www2.eie.ucr.ac.cr/~lmarin/docs/Fotonica.pdf>>.

12. Isotropía. [En línea] 12 de febrero de 2014. [Citado el: 3 de mayo de 2014.] Disponible en internet: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Isotrop%C3%ADa>>.

13. Refracción. [En línea] [Citado el: 2 de septiembre de 2013.] 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 2013.] 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 2014.] Disponible en internet:
<<http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/termo1p/sistema.html>>.

16. **Wes Pringle.** FLUKE. *Cámara Térmica Fluke TI32*. [En línea] Fluke Corporation, 1948. [Citado el: 23 de mayo de 2014.] Disponible en internet:
<<http://www.fluke.com/fluke/coes/termografia/fluke-ti32.htm?PID=56184>>.
Copyright © 1995-2014 Fluke Inc..

17. Termomultiplicador. [En línea] [Citado el: 2 de septiembre de 2013.] Disponible en internet: <<http://www.dicio.com.br/termomultiplicador/>>.

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

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

20. **RAYMOND A., Serway y JR, John W. Jewett.** *FÍSICA para ciencias e ingeniería con Física Moderna*. [ed.] Sergio R. CERVANTES GONZÁLEZ. [trad.]

Victor 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.

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

22. **SÁNCHEZ ALDANA, Natalia y VÉLASQUEZ GÓMEZ, Juliana.** Imágenes por radiación infrarroja y termografía. [En línea] [Citado el: 2 de septiembre de 2013.] Disponible en internet: <http://web.usal.es/~lcal/termografia_documento.pdf>.

23. latermografía. *Termografía aplicada al mantenimiento predictivo de instalaciones y equipos*. [En línea] [Citado el: 1 de mayo de 2014.] Disponible en internet: <<http://www.latermografia.com/2011/la-emisividad>>.

24. Guía Básica a la Termografía. [En línea] 2004. [Citado el: 29 de abril de 2014.] Disponible en internet: <www.landinst.com>.

25. Radiación. *Termodinámica Básica y Aplicada*. [En línea] [Citado el: 27 de abril de 2014.] Disponible en internet: <<http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c13/Radiacion%20termica.pdf>>.

26. FLUKE. *SmartView 3.2.584.0*. [En línea] 2006-2014. [Citado el: 23 de 5 de 2014.] Disponible en internet: <<http://en-us.fluke.com/products/infrared-cameras/fluke-ti32.html>>. Plymouth, MN 55447.

27. Ti32, TiR32, Ti29, TiR29, Ti27, TiR27 Manual de uso. [En línea] julio de 2009-2011. [Citado el: 20 de enero de 2014.] Disponible en internet: <<http://us.fluke.com/usen/support/manuals>>.

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

29. MAGNETRON. *Industrias Electromecánicas Magnetron S.A.S.* [En línea] [Citado el: 9 de junio de 2014.] Disponible en internet:

<http://magnetron.com.co/magnetron/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=10>.

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. CENTELSA. *CABLES DE ENERGÍA Y DE TELECOMUNICACIONES S.A.* [En línea] FELINUX LTDA. [Citado el: 9 de junio de 2014.] Disponible en internet: <http://issuu.com/felinux.lttda/docs/cables_para_media_tensi_n?e=3830121/2803524#search>.

32. **CARMONA, Carlos, JIMENEZ, Carlos y MORA, José.** monografías.com. *Radiación térmica*. [En línea] julio de 2005. [Citado el: 27 de abril de 2014.] Disponible en internet: <<http://www.monografias.com/trabajos25/radiacion-termica/radiacion-termica.shtml>>.