

Diagnóstico preventivo del sobrecalentamiento en centros de carga mediante cámara termográfica

Preventive diagnosis of overheating in load centers using a thermal imaging camera

Diagnóstico preventivo do sobreaquecimento em centros de carga através de câmara termográfica

Gualotuña-Vargas, René Darío
Instituto Superior Universitario Sucre
rgualotuna@tecnologicosucre.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4609-1484>



Lechón Gonza, Luis Freddy
Instituto Superior Universitario Sucre
llechon@tecnologicosucre.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7243-3735>



Tirira-Chulde, Rubén Darío
Instituto Superior Universitario Sucre
dtirira@tecnologicosucre.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-1869-015X>



Orellana-Toapanta, Marco Sebastián
Instituto Superior Universitario Sucre
m.orellana.toapanta@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-2149-9987>



Chanchicocha-Ribera, Ronal Eusebio
Instituto Superior Universitario Sucre
chanchicocha.ronal@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-9657-6060>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/nE1/1292>

Como citar:

Gualotuña-Vargas, R. D., Lechón Gonza, L. F., Tirira-Chulde, R. D., Orellana-Toapanta, M. S., & Chanchicocha-Ribera, R. E. (2026). Diagnóstico preventivo del sobrecalentamiento en centros de carga mediante cámara termográfica. *Código Científico Revista De Investigación*, 7(E1), 314–334.

Recibido: 20/02/2026

Aceptado: 04/03/2026

Publicado: 31/03/2026

Resumen

El estudio evalúa de forma preventiva el comportamiento térmico de un centro de carga trifásico de baja tensión mediante termografía infrarroja en condiciones reales de operación. La metodología se basa en un procedimiento secuencial que incluye la identificación de puntos críticos de inspección, la captura de imágenes térmicas en servicio, el registro de variables eléctricas complementarias y la organización sistemática de los datos para su análisis comparativo. Las temperaturas superficiales aparentes de conductores, barras de distribución y dispositivos de protección se analizaron mediante criterios de comparación térmica relativa entre elementos equivalentes, con el propósito de detectar posibles asimetrías o incrementos anómalos asociados a la distribución de carga. Los resultados muestran que las temperaturas registradas se concentran dentro de un rango térmico reducido y coherente con las corrientes medidas por fase, sin evidenciar sobrecalentamientos ni puntos calientes localizados. La comparación de las temperaturas máximas observadas con los límites térmicos del aislamiento de los conductores indica un margen adecuado de operación segura durante el periodo de inspección. En conjunto, los resultados confirman la utilidad de la termografía infrarroja como herramienta de diagnóstico preventivo para evaluar el estado térmico de centros de carga de baja tensión y establecer una referencia técnica para futuras inspecciones dentro de programas de mantenimiento basado en condición.

Palabras clave: termografía infrarroja, mantenimiento preventivo, instalaciones eléctricas, diagnóstico técnico, seguridad eléctrica.

Abstract

This study presents a preventive evaluation of the thermal behavior of a low-voltage three-phase distribution panel using infrared thermography under real operating conditions. The methodology follows a sequential procedure that includes the identification of critical inspection points, acquisition of thermal images during operation, recording of complementary electrical variables, and systematic organization of the collected data for comparative analysis. Apparent surface temperatures measured on conductors, distribution bars, and protective devices were analyzed using relative thermal comparison criteria between equivalent elements in order to detect possible asymmetries or abnormal temperature increases associated with load distribution. The results show that the measured temperatures remain within a narrow thermal range consistent with the currents recorded in each phase, with no evidence of overheating or localized hot spots. The comparison between the maximum observed temperatures and the thermal limits of conductor insulation indicates a sufficient safety margin during the inspection period. Overall, the findings confirm the usefulness of infrared thermography as a preventive diagnostic tool for assessing the thermal condition of low-voltage distribution panels and for establishing a technical baseline for future inspections within condition-based maintenance programs.

Keywords: infrared thermography, preventive maintenance, electrical installations, technical diagnosis, electrical safety.

Resumo

O estudo avalia preventivamente o comportamento térmico de um centro de carga trifásico de baixa tensão por meio de termografia infravermelha em condições reais de operação. A metodologia baseia-se num procedimento sequencial que inclui a identificação de pontos críticos de inspeção, a captura de imagens térmicas em serviço, o registo de variáveis elétricas complementares e a organização sistemática dos dados para sua análise comparativa. As

temperaturas superficiais aparentes de condutores, barras de distribuição e dispositivos de proteção foram analisadas através de critérios de comparação térmica relativa entre elementos equivalentes, com o objetivo de detectar possíveis assimetrias ou aumentos anómalos associados à distribuição de carga. Os resultados mostram que as temperaturas registradas se concentram dentro de uma faixa térmica reduzida e coerente com as correntes medidas por fase, sem evidenciar superaquecimento ou pontos quentes localizados. A comparação das temperaturas máximas observadas com os limites térmicos do isolamento dos condutores indica uma margem adequada de operação segura durante o período de inspeção. Em conjunto, os resultados confirmam a utilidade da termografia infravermelha como ferramenta de diagnóstico preventivo para avaliar o estado térmico de centros de carga de baixa tensão e estabelecer uma referência técnica para futuras inspeções dentro de programas de manutenção baseados nas condições.

Palavras-chave: termografia infravermelha, manutenção preventiva, instalações elétricas, diagnóstico técnico, segurança elétrica.

Introducción

El sobrecalentamiento en centros de carga eléctricos constituye una condición anómala de elevada relevancia técnica, debido a su impacto directo sobre la confiabilidad operativa y la seguridad de las instalaciones de baja tensión. Este fenómeno se manifiesta mediante incrementos localizados de temperatura en conductores, barras de distribución y puntos de conexión, asociados a condiciones reales de operación como la distribución no uniforme de corriente entre fases, el deterioro mecánico de las uniones, el apriete inadecuado de terminales y el envejecimiento progresivo de los componentes del tablero (Meola & Carlomagno, 2004). La detección temprana de estas anomalías resulta fundamental para prevenir fallas de carácter crítico, mitigar el riesgo de incendios de origen eléctrico y garantizar la continuidad del servicio, especialmente en sistemas que operan de forma permanente o bajo elevados factores de carga, donde los defectos térmicos tienden a evolucionar de manera gradual si no son identificados oportunamente mediante técnicas de diagnóstico adecuadas (Bagavathiappan et al., 2013)

La termografía infrarroja se ha consolidado como una técnica de ensayo no destructivo ampliamente utilizada para la inspección de equipos eléctricos energizados. Esta técnica permite estimar la temperatura superficial aparente a partir de la radiación infrarroja emitida

por los componentes, posibilitando el análisis del comportamiento térmico sin contacto físico y sin interrupción del servicio (Maldague, 2001). Su aplicación en centros de carga y tableros de distribución resulta especialmente adecuada, ya que permite identificar distribuciones térmicas no uniformes y puntos calientes bajo condiciones reales de operación (Mobley, 2002). La guía ASTM E1934 establece procedimientos generales para el examen de equipos eléctricos mediante termografía infrarroja y señala que la interpretación de los resultados debe basarse en comparaciones térmicas relativas entre componentes equivalentes sometidos a condiciones de carga similares, evitando el uso de valores absolutos aislados que puedan inducir a interpretaciones incorrectas (ASTM International, 2018).

En el marco de los programas de mantenimiento basado en condición, la termografía infrarroja es reconocida como un método fundamental para la detección temprana de anomalías térmicas en equipos eléctricos. El estándar NFPA 70B, en su edición vigente, establece que las inspecciones infrarrojas deben integrarse en los planes de mantenimiento de equipos eléctricos energizados con el objetivo de identificar puntos calientes, evaluar su severidad y priorizar acciones correctivas antes de que se produzcan fallas funcionales o interrupciones del servicio (Manjiri et al., 2017). Este enfoque ha sido ampliamente validado en aplicaciones industriales, donde la comparación térmica entre elementos equivalentes dentro de un mismo tablero ha demostrado ser un criterio eficaz para la evaluación del estado operativo de los sistemas eléctricos (National Fire Protection Association, 2023; Miccoli et al., 2022).

Desde la perspectiva del diseño eléctrico, los conductores se conciben para operar dentro de rangos térmicos determinados por las propiedades de sus aislamientos y por los criterios establecidos en los códigos de instalaciones eléctricas. El National Electrical Code define que la operación segura de los sistemas debe considerar la clase térmica del aislamiento, la ampacidad del conductor y las condiciones de instalación, lo que constituye un marco técnico objetivo para contextualizar los resultados de las inspecciones térmicas realizadas en servicio

(IEC, 2010). En la práctica del diagnóstico preventivo, estos rangos térmicos no se emplean como umbrales absolutos de falla, sino como referencias técnicas que permiten interpretar incrementos anómalos de temperatura observados en la superficie de los componentes, de manera coherente con las recomendaciones de la literatura especializada en termografía infrarroja (National Fire Protection Association, 2023; Usamentiaga et al., 2014).

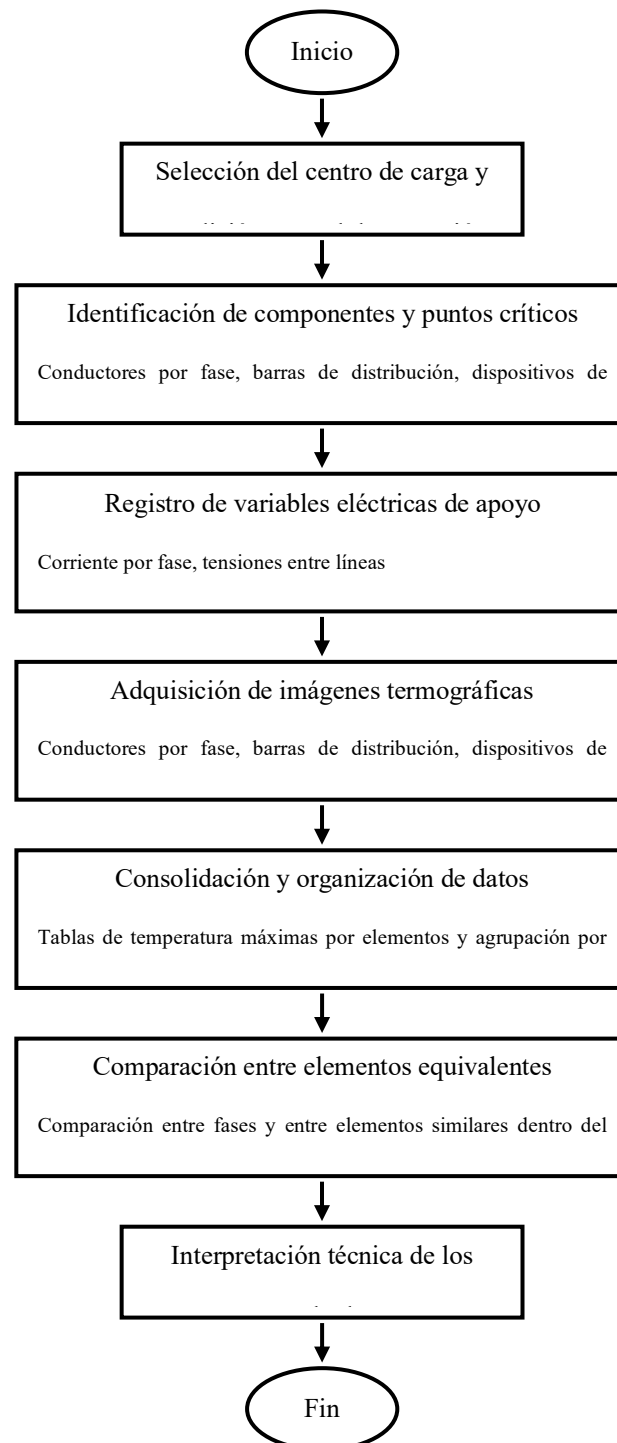
En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo evaluar de manera preventiva el estado térmico de un centro de carga trifásico mediante la aplicación de termografía infrarroja, a partir de la evaluación de la temperatura superficial aparente en los puntos críticos del tablero (IEEE, 2018). El análisis se desarrolla a partir de datos obtenidos en condiciones reales de operación y se sustenta en criterios de comparación térmica entre elementos equivalentes, siguiendo los lineamientos de las guías técnicas de inspección infrarroja y de mantenimiento de equipos eléctricos. Con ello se busca aportar evidencia técnica verificable sobre la utilidad de la termografía como herramienta de diagnóstico preventivo orientada a fortalecer la seguridad y la confiabilidad de las instalaciones eléctricas de baja tensión (Tirira et al., 2026).

Metodología

El desarrollo metodológico del estudio se organiza en una secuencia de etapas operativas interrelacionadas, orientadas a la evaluación termográfica de un centro de carga trifásico en condiciones reales de operación. El procedimiento contempla la definición de los elementos a inspeccionar, la obtención de registros térmicos y eléctricos en servicio, y la posterior organización y análisis de la información obtenida mediante criterios de comparación térmica entre componentes equivalentes. Con el propósito de presentar de manera sintética la lógica del procedimiento seguido, la Figura 1 muestra un diagrama de flujo que resume las principales etapas desarrolladas a lo largo de la metodología.

Figura 1

Diagrama de flujo del procedimiento metodológico aplicado a la inspección termográfica del centro de carga



Nota: Secuencia de las principales etapas del procedimiento metodológico aplicado en el estudio (Autores, 2026).

Enfoque y tipo de estudio

El estudio se desarrolló mediante un enfoque experimental de tipo descriptivo, aplicado a la evaluación termográfica de un centro de carga trifásico de baja tensión en condición normal

de operación. La inspección se realizó sin interrupción del servicio eléctrico y bajo condiciones reales de carga, con el objetivo de identificar anomalías térmicas asociadas a conductores, barras de distribución y dispositivos de protección, en el marco de una estrategia de mantenimiento basado en condición aplicada a equipos eléctricos energizados, conforme a los lineamientos técnicos establecidos para la inspección y diagnóstico térmico en sistemas eléctricos (National Fire Protection Association, 2023; ASTM International, 2018).

Descripción del sistema evaluado y condición de operación

La inspección se realizó sobre un centro de carga trifásico instalado en un entorno cerrado, conformado por conductores de cobre con aislamiento termoplástico, barras de distribución y dispositivos de protección termomagnéticos. El sistema operaba bajo una distribución de carga no uniforme entre fases, condición representativa de escenarios reales de operación en instalaciones de baja tensión, la cual puede dar lugar a incrementos térmicos localizados asociados a sobrecargas parciales, desequilibrios de fase y deterioro progresivo de los puntos de conexión, según los criterios de evaluación térmica aplicados a sistemas eléctricos energizados (ASTM International, 2018; Miccoli et al., 2022).

Selección de los puntos de inspección termográfica

La selección de los puntos de inspección termográfica se realizó considerando aquellos elementos del centro de carga que, por su función y condición de operación, presentan mayor susceptibilidad a incrementos térmicos anómalos. En este sentido, se priorizó la evaluación de conductores por fase, barras de distribución y dispositivos de protección, con énfasis en puntos de conexión y superficies de contacto eléctrico, de acuerdo con los criterios recomendados para inspecciones termográficas en tableros energizados y sistemas de distribución de baja tensión (Usamentiaga et al., 2014; ASTM International, 2018).

Instrumentación termográfica empleada

La adquisición de las imágenes térmicas se realizó mediante una cámara termográfica portátil Fluke TiS20 Max+, utilizada para la inspección de componentes eléctricos energizados. Este tipo de instrumentación permite la captura de imágenes infrarrojas y la estimación de la temperatura superficial aparente en tiempo real, facilitando la identificación de gradientes térmicos y puntos calientes en los elementos accesibles del tablero (Rosero et al., 2026). El empleo de cámaras termográficas portátiles para la inspección de sistemas eléctricos en servicio es consistente con las prácticas recomendadas en programas de mantenimiento basado en condición, siempre que la interpretación de los resultados se realice mediante criterios de comparación térmica entre elementos equivalentes y se controlen los parámetros que condicionan la lectura termográfica, tales como emisividad del material, temperatura reflejada aparente y geometría de observación, a fin de reducir sesgos de medición y mejorar la repetibilidad del diagnóstico (ASTM International, 2018; National Fire Protection Association, 2023).

Procedimiento de adquisición de datos termográficos

La adquisición de los datos termográficos se efectuó durante el funcionamiento normal del centro de carga, sin interrupción del servicio eléctrico, lo cual permitió registrar condiciones reales de operación. Se realizó un barrido sistemático sobre los componentes previamente seleccionados, registrando imágenes térmicas para cada fase y para los puntos de mayor interés térmico, tales como terminales de interruptores, empalmes y barrajes. Las mediciones se realizaron bajo condiciones ambientales estables, procurando mantener una distancia y ángulo de observación constante, con el fin de garantizar la consistencia de los registros obtenidos (Cajas et al., 2026). La temperatura reportada corresponde a temperatura superficial aparente, por lo que la configuración del equipo y las condiciones de observación se realizaron procurando consistencia entre tomas y siguiendo las recomendaciones de la guía de inspección

infrarroja aplicada a equipos eléctricos energizados, a fin de minimizar sesgos asociados a reflexiones y a la geometría de medición (ASTM International, 2018; National Fire Protection Association, 2023).

Datos eléctricos registrados durante la inspección

Durante la inspección termográfica se registraron las corrientes por fase y las tensiones entre líneas del centro de carga, con el fin de caracterizar las condiciones eléctricas del sistema al momento de la medición. Estos datos no constituyen el objeto principal del análisis eléctrico del estudio, sino que se emplean como información de apoyo para la interpretación de los patrones térmicos observados en los distintos componentes evaluados, permitiendo contextualizar los incrementos de temperatura en función del nivel de carga y del posible desequilibrio entre fases, conforme a los criterios de análisis térmico, aplicados a instalaciones eléctricas energizadas (Miccoli et al., 2022; ASTM International, 2018).

Tabla 1

Corriente y tensión registradas en la alimentación principal del centro de carga

Magnitud eléctrica	Identificación	Valor
Corriente por fase	L1	51 A
Corriente por fase	L2	85 A
Corriente por fase	L3	82 A
Tensión entre fases	L1–L2	221 V
Tensión entre fases	L2–L3	218 V
Tensión entre fases	L3–L1	219 V

Nota: Mediciones instantáneas realizadas durante la inspección termográfica del centro de carga (Autores, 2026).

Los datos eléctricos presentados en la Tabla 1 no se utilizaron para realizar cálculos de demanda, balance de cargas ni análisis de régimen permanente, sino únicamente para contextualizar las condiciones bajo las cuales se adquirieron las imágenes termográficas. La distribución no uniforme de la corriente entre fases es coherente con la presencia de múltiples cargas monofásicas y trifásicas conectadas al sistema, mientras que la similitud de los valores de tensión entre fases permite asumir una condición estable de alimentación durante la inspección. Esta información respalda la validez de las mediciones térmicas realizadas en el tablero, sin constituir por sí misma un objeto de análisis eléctrico dentro del presente estudio.

Referencias técnicas de los conductores eléctricos empleados

Para la correcta interpretación de los resultados termográficos, se consideraron las especificaciones técnicas de los conductores eléctricos instalados en el centro de carga, proporcionadas por el fabricante. Estas especificaciones permiten establecer los límites térmicos de operación del aislamiento y contextualizar las temperaturas superficiales registradas durante la inspección.

En la Tabla 2 se presentan las características técnicas de los conductores eléctricos utilizados en el centro de carga, correspondientes a los distintos calibres y aplicaciones identificados en la configuración del tablero. Las especificaciones consignadas incluyen material del conductor, tipo de aislamiento, tensión nominal y temperatura máxima de operación declarada por el fabricante para la familia de conductores Electroable empleada, y se incorporan como referencia técnica del aislamiento para contextualizar la evaluación termográfica posterior.

Tabla 2

Especificaciones técnicas de los conductores instalados en el centro de carga

Aplicación en el centro de carga	Calibre nominal del conductor	Material del conductor	Tipo de aislamiento y cubierta	Tensión nominal	Temperatura máxima de operación
Alimentación principal L1-L2-L3 y conductor asociado al interruptor general	2/0 AWG	Cobre electrolítico	PVC con recubrimiento de poliamida tipo THHN o THWN-2	600 V	90 °C en seco, 75 °C en húmedo
Circuitos de laboratorio	6 AWG	Cobre electrolítico	PVC con recubrimiento de poliamida tipo THHN o THWN-2	600 V	90 °C en seco, 75 °C en húmedo
Circuitos de servicio	8 AWG	Cobre electrolítico	PVC con recubrimiento de poliamida tipo THHN o THWN-2	600 V	90 °C en seco, 75 °C en húmedo
Barras de neutro	6 a 10 AWG	Cobre electrolítico	PVC tipo THHN o THWN-2 según calibre	600 V	90 °C en seco, 75 °C en húmedo
Barra de puesta a tierra	NA	Cobre electrolítico	Sin aislamiento	600 V	Según configuración del conductor

Nota. Las especificaciones corresponden a conductores de cobre Electroable tipo THHN y THWN-2 (Autores, 2026).

En la Tabla 2 se presentan las características técnicas de los conductores eléctricos utilizados en el centro de carga, correspondientes a los distintos calibres y aplicaciones identificados en la configuración del tablero. Las especificaciones consignadas incluyen material del conductor, tipo de aislamiento, tensión nominal y temperatura máxima de operación declarada por el fabricante para la familia de conductores Electroable empleada, y se incorporan como referencia técnica del aislamiento para contextualizar la evaluación termográfica posterior.

Resultados

Temperaturas máximas registradas en el centro de carga

Como resultado de la inspección termográfica realizada, se obtuvieron valores de temperatura superficial aparente en los distintos elementos eléctricos accesibles del centro de carga, incluyendo conductores de alimentación, dispositivos de protección y barras conductoras. Los resultados se presentan de manera consolidada en la Tabla 3, donde se indican las temperaturas máximas registradas en cada elemento evaluado, permitiendo una comparación térmica directa entre componentes equivalentes dentro del sistema trifásico.

Tabla 3

Temperaturas máximas registradas en los elementos del centro de carga

Elemento inspeccionado	Tipo de elemento	Ubicación	Temperatura máxima registrada (°C)
Conductor de alimentación fase L1	Conductor aislado	Entrada al tablero	31,8
Conductor de alimentación fase L2	Conductor aislado	Entrada al tablero	33,2
Conductor de alimentación fase L3	Conductor aislado	Entrada al tablero	32,6
Interruptor general	Dispositivo de protección	de Centro del tablero	30,4
Barra de fase L1 del tablero principal	Barra conductora	Barraje principal L1	32,1
Barra de fase L2 del tablero principal	Barra conductora	Barraje principal L2	34,0

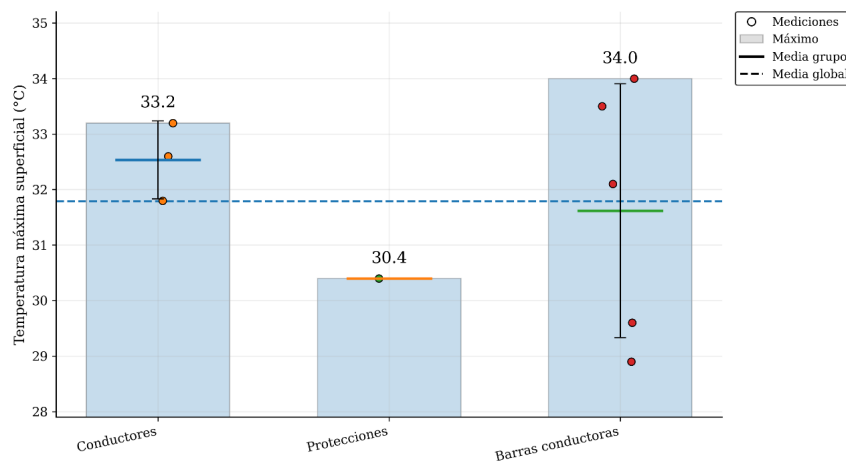
Barra de fase L3 del tablero principal	Barra conductora	Barraje principal L3	33,5
Barra de neutro 1	Barra conductora	Lateral izquierdo	29,6
Barra de neutro 2	Barra conductora	Lateral derecho	28,9

Nota: Temperaturas superficiales máximas registradas bajo condiciones normales de operación (Autores, 2026).

Los datos presentados en la Tabla 3 muestran que las temperaturas superficiales máximas registradas en los distintos elementos del centro de carga se distribuyen dentro de un rango acotado, con valores comprendidos entre 28,9 °C y 34,0 °C. Las mayores temperaturas se observaron en el barraje de fases, particularmente en la fase L2, coherente con la mayor corriente registrada en dicha fase durante la inspección. Los valores más bajos corresponden a las barras de neutro, lo que permite establecer una comparación térmica consistente entre elementos conductores de características similares.

Con el fin de facilitar la interpretación comparativa de las temperaturas superficiales registradas en los distintos elementos del centro de carga, se elaboró una representación gráfica que agrupa las mediciones en función del tipo de componente evaluado. En el caso de las barras conductoras, se consideraron conjuntamente las barras de fase y de neutro, debido a que ambas cumplen una función conductora dentro del tablero y permiten una evaluación térmica comparativa del comportamiento global del sistema, sin que ello implique asumir condiciones eléctricas equivalentes entre dichos elementos.

Figura 2
Distribución comparativa de las temperaturas máximas registradas en los elementos del centro de carga.



Nota. Temperaturas superficiales máximas de conductores, protecciones y barras del tablero (Autores, 2026).

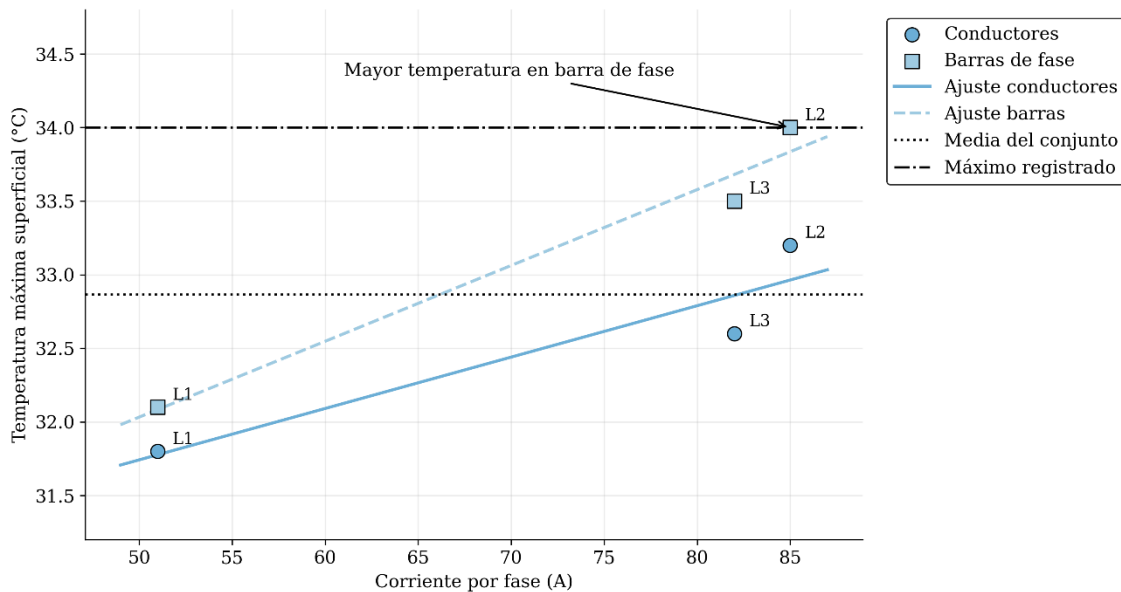
La Figura 2 muestra que las temperaturas superficiales registradas en los elementos del centro de carga se concentran en un rango estrecho, sin evidenciar incrementos térmicos abruptos ni dispersiones anómalas dentro de cada grupo evaluado. En el caso de los conductores de alimentación, las mediciones presentan una dispersión moderada alrededor de su media, coherente con las diferencias de corriente observadas entre fases durante la inspección. El grupo correspondiente a las protecciones eléctricas exhibe un comportamiento térmico uniforme, asociado a una única medición representativa del interruptor general, lo que sugiere una condición estable de operación en este componente.

Por su parte, las barras conductoras presentan la mayor dispersión de valores, atribuible a la coexistencia de barras de fase y barras de neutro dentro del mismo grupo. No obstante, incluso el valor máximo registrado en este conjunto se mantiene claramente por debajo del límite térmico admisible del aislamiento de los conductores, lo que indica una condición térmica globalmente segura. La posición de la media global refuerza esta conclusión, al situarse dentro del rango central de las mediciones, confirmando que el comportamiento térmico del centro de carga, en el instante evaluado, no presenta indicios de sobrecalentamiento ni de condiciones que requieran intervención correctiva inmediata.

Con el propósito de profundizar en la interpretación física de las temperaturas superficiales registradas durante la inspección termográfica, se analizó su relación con las corrientes medidas en cada una de las fases del sistema trifásico. Este enfoque permite evaluar si las variaciones térmicas observadas presentan coherencia con el nivel de carga eléctrica asociado a cada fase, considerando que las pérdidas por efecto Joule y las condiciones de contacto influyen directamente en el comportamiento térmico de conductores y barras conductoras. En este contexto, la Figura 3 presenta una comparación directa entre corriente por fase y temperatura máxima superficial registrada en los principales elementos del centro de carga.

Figura 3

Relación entre la corriente por fase y la temperatura máxima superficial en conductores y barras de fase



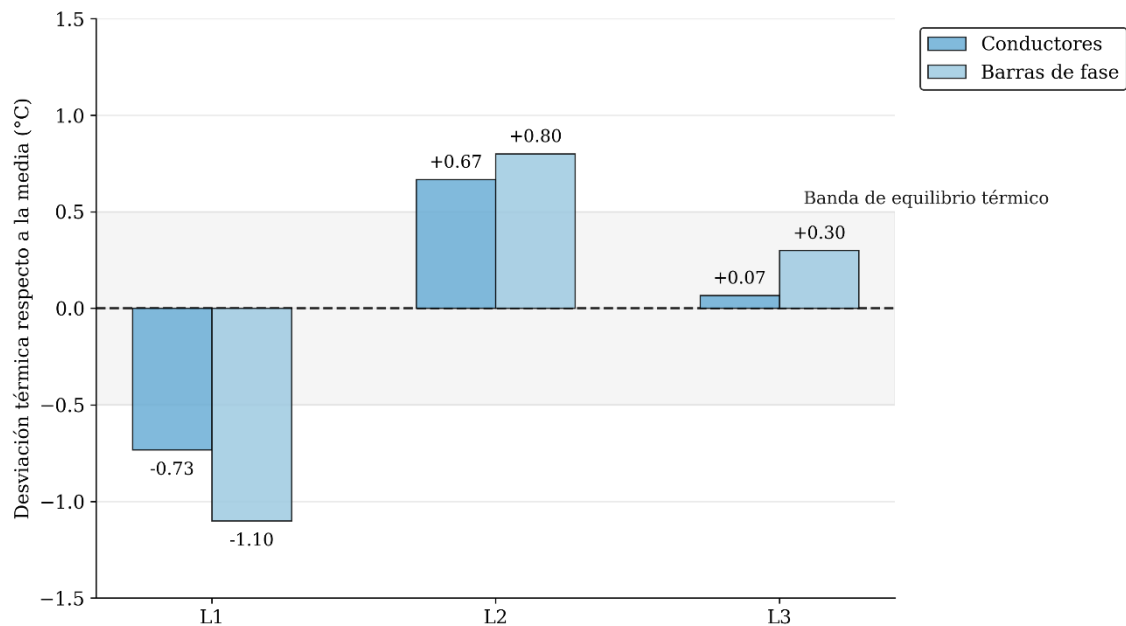
Nota: Mediciones superficiales bajo condiciones normales de operación del sistema (Autores, 2026).

La Figura 3 evidencia una asociación consistente entre el incremento de la corriente por fase y el aumento de la temperatura máxima superficial registrada, tanto en los conductores de alimentación como en las barras de fase. Las líneas de ajuste incluidas en la figura se incorporan únicamente como guías visuales de tendencia y no representan un modelo estadístico ni predictivo, dado el número limitado de puntos disponibles y el carácter descriptivo del estudio. En este contexto, el análisis se limita a una interpretación física coherente entre carga eléctrica y comportamiento térmico superficial.

Con el objetivo de evaluar el comportamiento térmico relativo entre las fases del sistema trifásico, se analizó la desviación de las temperaturas superficiales registradas respecto al promedio trifásico de cada elemento evaluado. Este enfoque permite identificar asimetrías térmicas internas que pueden asociarse a desbalances de carga, diferencias en condiciones de contacto o variaciones constructivas, independientemente del nivel térmico absoluto del sistema. La Figura 4 presenta el desbalance térmico por fase para conductores de alimentación y barras de fase, calculado como la diferencia respecto al promedio trifásico correspondiente.

Figura 4

Desviación térmica por fase respecto al promedio trifásico en conductores y barras de fase



Nota: Diferencia entre la temperatura de cada fase y el promedio trifásico (Autores, 2026).

La Figura 4 muestra que la fase L2 presenta una desviación térmica positiva tanto en conductores como en barras de fase, lo que confirma su condición de mayor exigencia térmica dentro del sistema. En contraste, la fase L1 se mantiene por debajo del promedio trifásico, mientras que la fase L3 se sitúa cercana al equilibrio térmico. La presencia de una banda de equilibrio alrededor del valor medio evidencia que las desviaciones observadas son moderadas y no indican anomalías térmicas severas. En conjunto, el patrón de desbalance térmico identificado es consistente con la distribución de corrientes medida y refuerza la coherencia del comportamiento trifásico del centro de carga bajo las condiciones de operación evaluadas.

Comparación de las temperaturas registradas con los límites térmicos del aislamiento

Con el propósito de contextualizar los valores de temperatura superficial aparente registrados durante la inspección termográfica, se realizó una comparación directa entre la temperatura máxima observada en el centro de carga y la temperatura máxima de operación del aislamiento de los conductores eléctricos especificada por el fabricante. Esta comparación se presenta en la Tabla 4 y permite establecer la relación entre las condiciones térmicas medidas

y los límites de diseño del material aislante, proporcionando un marco de referencia técnico para la evaluación del estado térmico del sistema.

Tabla 4

Comparación entre la temperatura máxima registrada y el límite térmico del aislamiento

Parámetro	Valor
Temperatura máxima registrada en el centro de carga	34,0 °C
Temperatura máxima admisible del aislamiento del conductor	90 °C
Diferencia respecto al límite térmico	56,0 °C

Nota: El límite térmico corresponde a la temperatura máxima de operación del aislamiento del conductor (Autores, 2026).

La información presentada en la Tabla 4 muestra que la temperatura superficial aparente máxima registrada durante la inspección se encuentra significativamente por debajo del límite térmico de operación del aislamiento del conductor. Esta comparación se incorpora únicamente como referencia técnica del margen térmico disponible y no debe interpretarse como una evaluación del régimen térmico interno del conductor ni como un indicador directo de vida útil del aislamiento, dado que las mediciones corresponden a temperatura superficial aparente obtenida bajo condiciones específicas de operación.

Discusión

Los resultados obtenidos mediante la inspección termográfica evidencian que el centro de carga evaluado presenta un comportamiento térmico globalmente estable bajo las condiciones reales de operación analizadas. Tal como se observa en la Tabla 3 y se refuerza mediante la Figura 2, las temperaturas superficiales aparentes registradas en conductores de alimentación, dispositivos de protección y barras conductoras se concentran dentro de un rango térmico reducido, sin la presencia de incrementos abruptos o puntos calientes localizados que indiquen condiciones de sobrecalentamiento crítico. Esta distribución homogénea constituye un primer indicador favorable del estado operativo del sistema desde el punto de vista térmico.

El análisis comparativo entre fases muestra que las diferencias térmicas observadas guardan coherencia con la distribución no uniforme de corrientes registrada durante la

inspección. En particular, la fase L2, que presentó la mayor corriente medida, exhibe también las temperaturas superficiales más elevadas tanto en conductores como en barras de fase, como se evidencia en la Figura 2. Esta correspondencia entre carga eléctrica y respuesta térmica superficial es consistente con el comportamiento esperado por efecto Joule y respalda la validez física de las mediciones realizadas, sin que ello implique la identificación de condiciones anómalas asociadas a defectos de contacto o degradación localizada.

El análisis del desbalance térmico trifásico, presentado en la Figura 4, permite profundizar en la evaluación relativa del comportamiento térmico del sistema independientemente del nivel absoluto de temperatura. La desviación positiva observada en la fase L2 y la proximidad al equilibrio térmico de las fases L1 y L3 evidencian un patrón coherente con la distribución de carga del sistema. La magnitud moderada de estas desviaciones y la presencia de una banda de equilibrio alrededor del promedio trifásico indican que el sistema opera sin asimetrías térmicas severas, lo cual resulta particularmente relevante en centros de carga trifásicos donde desbalances pronunciados pueden acelerar procesos de envejecimiento o generar esfuerzos térmicos adicionales en componentes específicos.

Desde la perspectiva de los límites térmicos del aislamiento de los conductores, la comparación presentada en la Tabla 4 muestra que la temperatura superficial aparente máxima registrada se encuentra ampliamente por debajo del valor máximo de operación declarado por el fabricante. La existencia de un margen térmico considerable refuerza la interpretación de que, en el instante de la evaluación, el sistema opera dentro de condiciones admisibles de diseño. No obstante, es importante enfatizar que esta comparación no debe interpretarse como una evaluación directa del régimen térmico interno del conductor ni como un indicador de vida útil del aislamiento, dado el carácter superficial y puntual de las mediciones termográficas.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que la termografía infrarroja, aplicada bajo criterios de comparación relativa y contextualización eléctrica, constituye una herramienta

eficaz para el diagnóstico preventivo de centros de carga de baja tensión. La integración de mediciones térmicas con información de corrientes por fase y análisis de desbalances térmicos permite no solo verificar el estado actual del sistema, sino también establecer una línea base técnica que facilite la detección temprana de desviaciones en inspecciones futuras, en concordancia con los principios del mantenimiento basado en condición recomendados en la literatura especializada y en los estándares de mantenimiento de equipos eléctricos energizados.

Conclusión

Los resultados obtenidos mediante la inspección termográfica evidencian que el centro de carga evaluado presenta un comportamiento térmico globalmente estable bajo las condiciones reales de operación analizadas. Tal como se observa en la Tabla 3 y se refuerza mediante la Figura 2, las temperaturas superficiales aparentes registradas en conductores de alimentación, dispositivos de protección y barras conductoras se concentran dentro de un rango térmico reducido, sin la presencia de incrementos abruptos o puntos calientes localizados que indiquen condiciones de sobrecalentamiento crítico. Esta distribución homogénea constituye un primer indicador favorable del estado operativo del sistema desde el punto de vista térmico.

El análisis comparativo entre fases muestra que las diferencias térmicas observadas guardan coherencia con la distribución no uniforme de corrientes registrada durante la inspección. En particular, la fase L2, que presentó la mayor corriente medida, exhibe también las temperaturas superficiales más elevadas tanto en conductores como en barras de fase, como se evidencia en la Figura 3. Esta correspondencia entre carga eléctrica y respuesta térmica superficial es consistente con el comportamiento esperado por efecto Joule y respalda la validez física de las mediciones realizadas, sin que ello implique la identificación de condiciones anómalas asociadas a defectos de contacto o degradación localizada.

El análisis del desbalance térmico trifásico, presentado en la Figura 4, permite profundizar en la evaluación relativa del comportamiento térmico del sistema independientemente del nivel absoluto de temperatura. La desviación positiva observada en la fase L2 y la proximidad al equilibrio térmico de las fases L1 y L3 evidencian un patrón coherente con la distribución de carga del sistema. La magnitud moderada de estas desviaciones y la presencia de una banda de equilibrio alrededor del promedio trifásico indican que el sistema opera sin asimetrías térmicas severas, lo cual resulta particularmente relevante en centros de carga trifásicos donde desbalances pronunciados pueden acelerar procesos de envejecimiento o generar esfuerzos térmicos adicionales en componentes específicos.

Desde la perspectiva de los límites térmicos del aislamiento de los conductores, la comparación presentada en la Tabla 4 muestra que la temperatura superficial aparente máxima registrada se encuentra ampliamente por debajo del valor máximo de operación declarado por el fabricante. La existencia de un margen térmico considerable refuerza la interpretación de que, en el instante de la evaluación, el sistema opera dentro de condiciones admisibles de diseño. No obstante, es importante enfatizar que esta comparación no debe interpretarse como una evaluación directa del régimen térmico interno del conductor ni como un indicador de vida útil del aislamiento, dado el carácter superficial y puntual de las mediciones termográficas.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que la termografía infrarroja, aplicada bajo criterios de comparación relativa y contextualización eléctrica, constituye una herramienta eficaz para el diagnóstico preventivo de centros de carga de baja tensión. La integración de mediciones térmicas con información de corrientes por fase y análisis de desbalances térmicos permite no solo verificar el estado actual del sistema, sino también establecer una línea base técnica que facilite la detección temprana de desviaciones en inspecciones futuras, en concordancia con los principios del mantenimiento basado en condición recomendados en la

literatura especializada y en los estándares de mantenimiento de equipos eléctricos energizados.

Referencias bibliográficas

- ASTM International. (2018). ASTM E1934-18: Standard guide for examining electrical and mechanical equipment with infrared thermography. ASTM International.
- Bagavathiappan, S., Lahiri, B. B., Saravanan, T., Philip, J., & Jayakumar, T. (2013). Infrared thermography for condition monitoring – A review. *Infrared Physics & Technology*, 60, 35–55. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2013.03.006>
- Cajas Oña, Édgar J., Tirira Chulde, R. D., Taco Cabrera, A. G., Palaquibay León, J. P., & Narváz Toctaguano, C. A. (2026). Caracterización termoeléctrica de conectores rápidos y empalmes convencionales empleados como elementos de unión en instalaciones eléctricas. *Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas*, 10(1), 67 - 81. <https://doi.org/10.61236/ciya.v10i1.1235>
- IEEE. (2018). IEEE Std 3007.2-2018: Recommended practice for the maintenance of industrial and commercial power systems. IEEE Standards Association.
- International Electrotechnical Commission. (2010). IEC 60364-5-52: Electrical installations of buildings – Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems. IEC.
- Maldague, X. P. (2001). *Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing*. John Wiley & Sons.
- Manjiri., Apurva., Shweta., & Almaz. (2017). Condition monitoring of electrical equipment using thermal image processing. *International Journal of Research Publications in Engineering and Technology (IJRPET)*, 3(4), 45–49.
- Meola, C., & Carlomagno, G. M. (2004). Recent advances in the use of infrared thermography. *Measurement Science and Technology*, 15(9), R27–R58. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/15/9/R01>
- Miccoli, C., Gervasi, L., Cerantonio, V., Pomeroy, J., Kuball, M., & Iucolano, F. (2022). Peak channel temperature determination for an AlGaIn/GaN HEMT with Raman thermography and MTF extraction for long term reliability. En *2022 IEEE 9th Workshop on Wide Bandgap Power Devices and Applications (WiPDA)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/WiPDA56483.2022.9955286>
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- National Fire Protection Association. (2023). NFPA 70B: Standard for electrical equipment maintenance. NFPA.
- Rosero Yugsi, M. F., Taco Cabrera, A. G., Tirira Chulde, R. D., & Defas Pichucho, M. P. (2026). Evaluación del comportamiento eléctrico en luminarias led bajo regímenes de operación continua y cíclica. *Ciencias De La Ingeniería Y Aplicadas*, 10(1), 50 - 66. <https://doi.org/10.61236/ciya.v10i1.1234>
- Tirira-Chulde, R. D., Rodríguez-Santillán, M. D., Taco-Cabrera, A. G., Merino-Villegas, L. R., & Tejada-Valencia, J. P. (2026). Efectos de los regímenes de conmutación sobre los parámetros eléctricos en lámparas led modulares, lámparas led compactas y lámparas fluorescentes compactas. *Revista Científica Zambos*, 5(1), 214-232.

Usamentiaga, R., Venegas, P., Guerediaga, J., Vega, L., Molleda, J., & Bulnes, F. G. (2014). Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. *Sensors*, 14(7), 12305–12348. <https://doi.org/10.3390/s140712305>