

Evaluación experimental del desempeño térmico de conectores eléctricos rápidos en régimen de carga continua

Experimental evaluation of the thermal performance of quick electrical connectors under continuous load conditions

Avaliação experimental do desempenho térmico de conectores elétricos rápidos em regime de carga contínua

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



Rodríguez Santillán, Manuel David
Instituto Superior Universitario Sucre
drodriguez@tecnologicosucre.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9609-3955>



Taco Cabrera, Alexis Geovanny
Instituto Superior Universitario Sucre
alextcgr@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-9609-0798>



Naranjo Samaniego, Josue Mateo
Instituto Superior Universitario Sucre
josuemateonaranjo@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-5949-7903>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/n2/1216>

Como citar:

Tirira Chulde, R. D., Rodríguez Santillán, M. D., Taco Cabrera, A. G., & Naranjo Samaniego, J. M. (2025). Evaluación experimental del desempeño térmico de conectores eléctricos rápidos en régimen de carga continua. *Código Científico Revista De Investigación*, 6(2), 558–576.

Recibido: 26/11/2025

Aceptado: 16/12/2025

Publicado: 31/12/2025

Resumen

El estudio evalúa experimentalmente el desempeño térmico de tres tecnologías de conectores eléctricos rápidos y empalmes tradicionales sometidos a operación continua en condiciones representativas de instalaciones residenciales. Se analizaron dos circuitos independientes, uno de iluminación y otro de fuerza, mediante mediciones termográficas y registros eléctricos durante sesenta minutos de régimen estable. Los resultados muestran que los conectores rápidos presentan un comportamiento térmico más uniforme, con incrementos moderados y baja variabilidad entre puntos de unión. Los empalmes tradicionales exhiben las temperaturas finales más elevadas y la mayor dispersión térmica, lo que evidencia su sensibilidad a irregularidades mecánicas. La comparación entre circuitos confirma que la demanda de carga influye directamente en la magnitud del calentamiento, con diferencias más notorias en iluminación. La estabilidad de los parámetros eléctricos durante los ensayos valida que las diferencias térmicas observadas corresponden al comportamiento propio de cada tecnología.

Palabras clave: efecto joule, conectores eléctricos, uniones eléctricas, instalaciones eléctricas, termografía infrarroja, temperatura de operación, conducción eléctrica seguridad eléctrica, baja tensión.

Abstract

This study presents an experimental evaluation of the thermal performance of three types of rapid electrical connectors and traditional splices operating under continuous load conditions representative of residential installations. Two independent circuits, one for lighting and one for power, were assessed through thermographic measurements and electrical recordings over sixty minutes of steady-state operation. Results indicate that rapid connectors exhibit a more uniform thermal behavior, with moderate temperature increases and low variability among connection points. Traditional splices recorded the highest final temperatures and the greatest thermal dispersion, revealing their sensitivity to mechanical inconsistencies. The comparison between circuits confirms that load demand directly influences the magnitude of temperature rise, with more significant differences in the lighting circuit. The stability of electrical parameters throughout the tests validates that the thermal differences observed are intrinsic to each technology.

Keywords: electrical connectors, electrical joints, low-voltage installations, thermal analysis, infrared thermography, electrical conductivity, operating temperature, electrical safety, joule effect.

Resumo

Este estudo apresenta uma avaliação experimental do desempenho térmico de três tipos de conectores elétricos rápidos e emendas tradicionais operando sob condições de carga contínua representativas de instalações residenciais. Dois circuitos independentes, um para iluminação e outro para energia, foram avaliados por meio de medições termográficas e registros elétricos durante sessenta minutos de operação em estado estacionário. Os resultados indicam que os conectores rápidos exibem um comportamento térmico mais uniforme, com aumentos moderados de temperatura e baixa variabilidade entre os pontos de conexão. As emendas tradicionais registraram as temperaturas finais mais altas e a maior dispersão térmica, revelando sua sensibilidade a inconsistências mecânicas. A comparação entre os circuitos confirma que a demanda de carga influencia diretamente a magnitude do aumento de temperatura, com diferenças mais significativas no circuito de iluminação. A estabilidade dos parâmetros elétricos ao longo dos testes valida que as diferenças térmicas observadas são intrínsecas a cada tecnologia.

Palavras-chave: conectores elétricos, juntas elétricas, instalações de baixa tensão, análise térmica, termografia infravermelha, condutividade elétrica, temperatura de funcionamento, segurança elétrica, efeito joule.

Introducción

El análisis térmico de las uniones eléctricas en instalaciones residenciales constituye un aspecto fundamental para garantizar la continuidad operativa, la seguridad del sistema y la integridad de los conductores sometidos a cargas sostenidas. Investigaciones clásicas sobre contactos eléctricos evidencian que pequeñas variaciones en la resistencia de contacto incrementan de manera significativa la disipación asociada al efecto Joule, lo que conduce a elevaciones térmicas capaces de comprometer el aislamiento o generar fallas prematuras en los puntos de unión. Estos principios se encuentran documentados en estudios de Holm, quien establece la relación directa entre presión de contacto, micro irregularidades de superficie y generación de calor en condiciones de operación continua (Holm, 2013). Esta sensibilidad térmica se vuelve más relevante en uniones sometidas a cargas moderadas o altas durante intervalos prolongados, como es habitual en circuitos residenciales de iluminación y fuerza.

La literatura especializada describe que la estabilidad mecánica del conector, la calidad del material conductor y la homogeneidad interna del mecanismo de sujeción influyen de manera decisiva en el comportamiento térmico de la unión. Trabajos desarrollados por Braunovic, Myshkin y Konchits explican que materiales con menor resistencia a la oxidación y contactos con geometrías inestables presentan incrementos térmicos acelerados frente a condiciones de carga continua (Braunovic et al., 2007). Investigaciones posteriores han ratificado estos modelos, demostrando que uniones con presión irregular concentran corrientes locales que aumentan la temperatura incluso bajo corrientes nominales de uso doméstico. Slade documenta que la degradación por microarcos, la relajación mecánica y la contaminación superficial alteran la resistencia de contacto y favorecen el desarrollo de puntos calientes (Slade, 2014).

En el contexto residencial, las derivaciones que alimentan luminarias y tomacorrientes requieren uniones confiables que mantengan condiciones térmicas estables durante la operación continua. Estudios empíricos realizados en conexiones domésticas identifican que los empalmes tradicionales presentan mayor variabilidad térmica, atribuida principalmente a la naturaleza manual de su construcción y a la ausencia de mecanismos que aseguren una presión constante en el conductor (Pires y Dias, 2016). En contraste, los conectores rápidos de accionamiento mecánico han mostrado un desempeño térmico más homogéneo en evaluaciones realizadas bajo cargas representativas de uso residencial, debido a la consistencia estructural del resorte interno o del mecanismo de palanca que asegura la sujeción del conductor (Bernardi y Peruzzotti, 2019).

La termografía infrarroja se ha consolidado como una herramienta de alta sensibilidad para el análisis no invasivo de gradientes térmicos en componentes de baja tensión. Su utilización permite caracterizar el comportamiento térmico de uniones, identificar puntos calientes y evaluar la uniformidad entre conexiones nominalmente equivalentes, lo cual resulta indispensable para determinar la estabilidad térmica de tecnologías de unión sometidas a operación sostenida. Investigaciones desarrolladas por Usamentiaga y colaboradores demuestran que esta técnica permite diferenciar variaciones térmicas mínimas incluso en sistemas eléctricos de baja capacidad, lo que la hace adecuada para la evaluación de conectores residenciales (Usamentiaga et al., 2014). Gracias a su capacidad para captar la evolución temporal del calentamiento, la termografía se ha aplicado de manera efectiva en estudios que evalúan cables, conectores y terminaciones sometidas a cargas continuas (Belmonte et al., 2018).

Adicionalmente, la confiabilidad térmica de los puntos de unión se relaciona con fenómenos de envejecimiento eléctricos y mecánicos documentados en investigaciones recientes. Wang y Chen determinaron que la acumulación de ciclos térmicos produce

variaciones progresivas en la resistencia de contacto, lo que incrementa la temperatura de operación incluso cuando las condiciones eléctricas externas permanecen estables (Wang y Chen, 2019). Resultados similares fueron obtenidos por Xu, Wu y Zhao, quienes identificaron que uniones sometidas a cargas estables experimentan cambios en la disipación térmica debido a transformaciones internas del material conductor y a variaciones geométricas inducidas por el calentamiento repetitivo (Xu et al., 2018). Estos hallazgos justifican la necesidad de evaluar tecnologías de unión eléctrica bajo condiciones típicas de operación continua para identificar patrones térmicos que permitan predecir comportamientos críticos o inestables.

Las normativas internacionales de instalaciones eléctricas de baja tensión destacan la importancia de seleccionar dispositivos de unión que garanticen estabilidad térmica y mecánica bajo condiciones nominales de carga. Documentos como la IEC 60364 enfatizan el control de temperatura en elementos de conexión, mientras que normas adicionales establecen criterios relacionados con materiales, pérdidas térmicas y capacidad de conducción (IEC, 2015; CENELEC, 2018). Debido a estas exigencias, evaluar experimentalmente el desempeño térmico de diferentes tecnologías de conectores se convierte en un insumo técnico clave para garantizar instalaciones seguras y confiables.

El presente estudio tiene como propósito evaluar experimentalmente el comportamiento térmico de conectores eléctricos rápidos sometidos a operación continua en condiciones representativas del entorno residencial. El análisis incluye la evolución temporal de la temperatura, el incremento térmico acumulado, la uniformidad entre puntos de unión y la sensibilidad térmica frente a distintos niveles de carga. Los resultados permiten comparar tecnologías de unión y establecer criterios técnicos para su selección en instalaciones expuestas a cargas sostenidas.

Metodología

La investigación se desarrolló mediante un procedimiento experimental orientado a caracterizar el comportamiento térmico de tres tecnologías de conectores eléctricos rápidos sometidos a condiciones de operación continua representativas de instalaciones residenciales. El diseño metodológico se fundamentó en criterios establecidos en la literatura sobre contactos eléctricos, disipación térmica y confiabilidad en baja tensión, lo que permitió estructurar un protocolo reproducible conforme a lineamientos documentados en estudios previos (Braunovic et al., 2007; Slade, 2014; Liang et al., 2020).

Configuración de los circuitos de ensayo

Se construyeron dos circuitos independientes para representar condiciones residenciales típicas. El circuito de iluminación se implementó con conductor AWG número catorce y se dispusieron doce puntos de unión distribuidos de manera equidistante. El circuito de fuerza se estructuró con conductor AWG número doce e incluyó diez puntos de unión. Estas configuraciones se diseñaron conforme a las recomendaciones de la IEC 60364 relacionadas con la selección de secciones, la continuidad eléctrica y la protección térmica en instalaciones de baja tensión (IEC, 2015).

Cada punto de unión se asignó a una tecnología de conector eléctrico. Se evaluaron tres tipos de conectores rápidos de acción mecánica mediante palanca interna y se consideraron empalmes tradicionales como referencia comparativa. Todas las uniones se instalaron siguiendo técnicas documentadas en la literatura sobre confiabilidad mecánica y eléctrica de componentes de baja tensión, especialmente en relação con el control del contacto mecánico y la estabilidad del conductor (Wang y Chen, 2019; Pires y Dias, 2016).

Procedimiento de instalación de las tecnologías evaluadas

Cada tecnología ocupó de manera exclusiva la totalidad de los puntos de unión del circuito durante su ensayo correspondiente. Antes de iniciar la medición térmica, los

conductores se prepararon mediante limpieza mecánica ligera para evitar efectos asociados a partículas superficiales o residuos de aislamiento, siguiendo criterios establecidos en pruebas experimentales sobre resistencia de contacto (Holm, 2013; Bernardi y Peruzzotti, 2019).

Las uniones se realizaron garantizando que el conductor ingresara completamente en el punto de sujeción del conector rápido o en el empalme manual. En los conectores de palanca se verificó la integridad del resorte interno mediante inspección visual. En los empalmes se aplicó una técnica uniforme de torsión manual, ejecutada de manera consistente en todos los puntos, conforme a procedimientos documentados en investigaciones empíricas sobre uniones residenciales (Antonini et al., 2010).

Condiciones de alimentación eléctrica

Ambos circuitos se alimentaron desde un punto común con una fuente estabilizada que proporcionó tensión nominal de operación. Durante todo el ensayo se registraron parámetros eléctricos como tensión mínima y máxima, corriente y contenido armónico, siguiendo prácticas recomendadas en estudios de confiabilidad térmica de uniones domésticas (Xu et al., 2018; Kong et al., 2017). Se verificó que estos parámetros mantuvieran variaciones dentro de márgenes aceptables para asegurar que las diferencias térmicas observadas correspondieran al comportamiento intrínseco de cada tecnología y no a fluctuaciones externas de la red.

El contenido armónico se evaluó considerando la influencia de componentes de frecuencia en la disipación térmica de uniones, aspecto señalado en estudios dedicados a la interacción entre distorsión y calentamiento en baja tensión (Belmonte et al., 2018). Todos los ensayos se realizaron en régimen continuo durante sesenta minutos.

Medición termográfica

Las mediciones térmicas se realizaron mediante una cámara termográfica con sensibilidad adecuada para registrar variaciones mínimas en componentes de baja tensión. La termografía infrarroja se seleccionó como técnica de medición debido a su capacidad para

identificar gradientes térmicos, puntos calientes y comportamientos no uniformes sin interferir en la operación eléctrica, tal como se establece en trabajos de evaluación térmica en conductores y conexiones residenciales (Usamentiaga et al., 2014; Cheng et al., 2021).

Durante cada ensayo se capturaron imágenes en intervalos de diez minutos. Para cada punto de unión se estimó la temperatura superficial media mediante análisis de las regiones de interés definidas en la imagen. Esta metodología coincide con protocolos utilizados en estudios comparativos de conectores y terminaciones sometidas a cargas prolongadas (Wang y Chen, 2019; Liang et al., 2020).

Organización y procesamiento de los datos

Los valores térmicos obtenidos en los puntos de unión se organizaron en tablas estructuradas por tiempo y tecnología. Se calcularon indicadores complementarios como temperatura media, incremento térmico acumulado, desviación estándar entre puntos de unión y relaciones comparativas entre circuitos. Estos indicadores se seleccionaron debido a su eficacia para representar el comportamiento térmico global, la uniformidad y la sensibilidad relativa de cada tecnología, tal como proponen investigaciones orientadas a la evaluación térmica integral de uniones en tensión (Braunovic et al., 2007; Belmonte et al., 2018).

Este tratamiento de datos permitió comparar de forma directa el desempeño térmico de cada tecnología bajo condiciones equivalentes de instalación y operación. La metodología adoptada ofrece una base coherente, reproducible y alineada con requerimientos experimentales documentados en estudios de contactos eléctricos y conectores residenciales

Resultados

Los resultados se presentan siguiendo una estructura ordenada que permite identificar la evolución térmica de cada tecnología, la comparación entre circuitos, la variabilidad interna entre puntos de unión y los parámetros eléctricos registrados durante la operación continua.

Cada subsección incorpora una tabla con valores completos y un análisis correspondiente. Las figuras se referencian en el lugar exacto donde deben ubicarse y se generarán posteriormente con los códigos en la fase de construcción gráfica.

Comportamiento térmico en el circuito de iluminación

El comportamiento térmico en iluminación se evaluó durante sesenta minutos de operación continua. Los valores obtenidos corresponden a la temperatura media calculada a partir de los doce puntos de unión del circuito. La Tabla 1 sintetiza estos valores para las tres tecnologías de conectores rápidos y los empalmes tradicionales utilizados como referencia.

Tabla 1

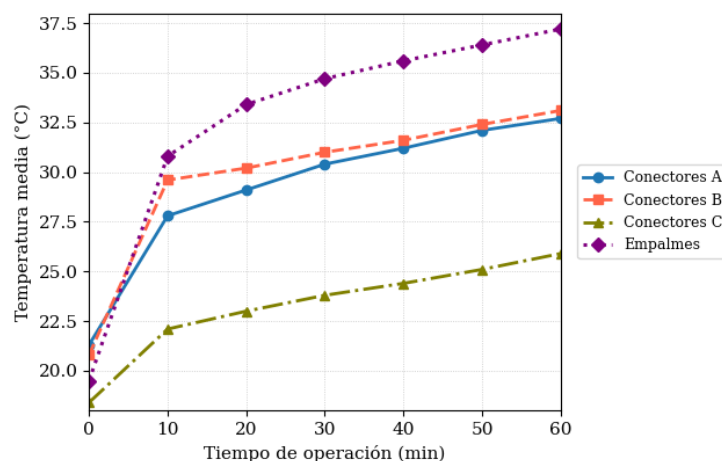
Temperatura media en el circuito de iluminación

Tiempo (min)	Conectores A (°C)	Conectores B (°C)	Conectores C (°C)	Empalmes (°C)
0	21,30	20,80	18,40	19,50
10	27,80	29,60	22,10	30,80
20	29,10	30,20	23,00	33,40
30	30,40	31,00	23,80	34,70
40	31,20	31,60	24,40	35,60
50	32,10	32,40	25,10	36,40
60	32,70	33,10	25,90	37,20

Nota: Valores medios obtenidos a partir de los doce puntos de unión del circuito de iluminación durante operación continua (Autores, 2025).

Los valores muestran que las cuatro tecnologías presentan un incremento térmico sostenido durante el ensayo. Los empalmes registran el valor más elevado al final, mientras que los conectores C mantienen el nivel más bajo. Los conectores A y B exhiben un comportamiento estable y de menor dispersión, lo que indica una disipación más homogénea.

La Figura 1 presenta la evolución térmica de las tecnologías evaluadas en el circuito de iluminación durante sesenta minutos de operación continua. Esta representación permite identificar la tendencia de calentamiento asociada al régimen continuo y visualizar el comportamiento relativo de cada tecnología bajo la misma condición de carga.

Figura 1*Evolución térmica en el circuito de iluminación*

Nota: Valores promedio de temperatura registrados durante sesenta minutos de operación continua en el circuito de iluminación (Autores, 2025).

En la Figura 1 se aprecia un incremento progresivo de la temperatura en todas las tecnologías evaluadas. Los empalmes alcanzan los valores más elevados al finalizar el ensayo, mientras que los conectores C mantienen las temperaturas más bajas. Los conectores A y B presentan trayectorias estables y próximas entre sí, lo que refleja una disipación térmica más homogénea.

Comportamiento térmico en el circuito de fuerza

El circuito de fuerza mostró valores térmicos inferiores debido a la menor demanda de carga. La Tabla 2 presenta las temperaturas medias obtenidas durante los sesenta minutos de operación continua.

Tabla 2*Temperatura media en el circuito de fuerza*

Tiempo (min)	Conectores A (°C)	Conectores B (°C)	Conectores C (°C)	Empalmes (°C)
0	21,30	20,80	18,40	19,50
10	21,90	21,70	19,40	21,00
20	22,30	21,90	19,80	21,40
30	22,50	22,10	20,30	21,90
40	23,00	22,40	21,00	22,20
50	23,40	22,70	21,60	22,60
60	23,80	23,00	22,10	22,90

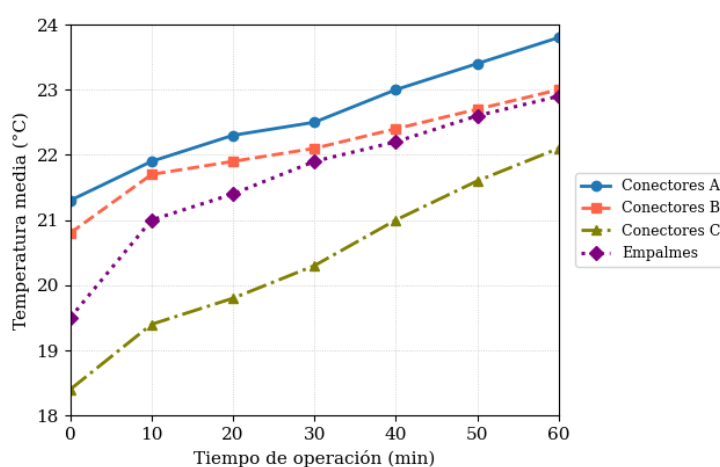
Nota: Temperaturas medias obtenidas a partir del conjunto de puntos de unión del circuito de fuerza (Autores, 2025).

Las diferencias entre tecnologías son menos marcadas en este circuito. Los valores se mantienen compactos y el incremento térmico global es reducido en comparación con iluminación, lo que confirma una menor sensibilidad térmica bajo esta condición de carga.

La Figura 2 muestra la evolución térmica en el circuito de fuerza durante los sesenta minutos de operación continua. Este gráfico complementa el análisis realizado en iluminación y permite contrastar la respuesta térmica bajo una demanda de carga diferente.

Figura 2

Evolución térmica en el circuito de fuerza



Nota: Valores promedio de temperatura registrados durante sesenta minutos de operación continua en el circuito de fuerza (Autores, 2025).

En la Figura 2 se observa que las diferencias térmicas entre tecnologías son menores que en iluminación. Las variaciones permanecen compactas y el incremento global es limitado, lo que confirma la menor sensibilidad térmica de este circuito frente a la carga aplicada.

Comparación final entre circuitos

Para comparar la sensibilidad térmica entre circuitos, se analizaron las temperaturas medias finales al minuto sesenta. La Tabla 3 resume estos valores y permite identificar el comportamiento relativo de cada tecnología frente a condiciones de carga distintas.

Tabla 3

Temperatura media final al minuto sesenta

Tecnología	Iluminación (°C)	Fuerza (°C)
Conectores A	32,70	23,80
Conectores B	33,10	23,00
Conectores C	25,90	22,10
Empalmes	37,20	22,90

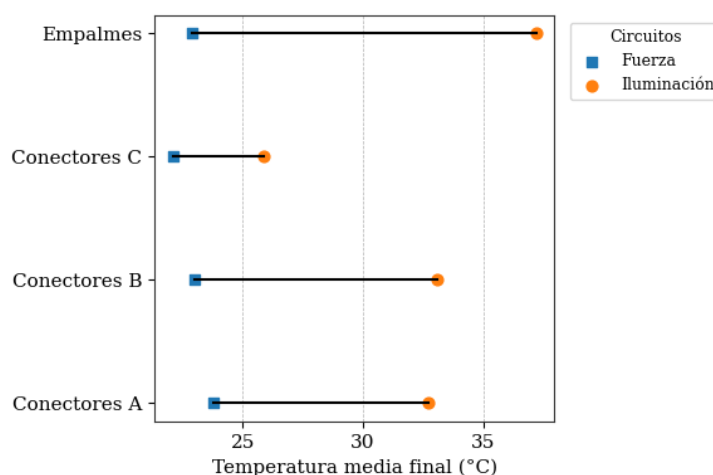
Nota: Valores obtenidos a partir de las Tablas 1 y 2 (Autores, 2025).

Los valores muestran que la mayor diferencia térmica se presenta en iluminación, donde los empalmes alcanzan incrementos superiores a los de las tecnologías rápidas. En fuerza las diferencias se reducen de manera notable.

La Figura 3 compara los valores finales de temperatura media en los circuitos de iluminación y fuerza para cada tecnología. Esta visualización facilita identificar la magnitud del contraste térmico entre ambos escenarios y permite distinguir la respuesta particular de cada tecnología frente a cargas distintas.

Figura 3

Comparación de la temperatura final en iluminación y fuerza



Nota: Temperaturas medias finales al minuto sesenta en los circuitos de iluminación y fuerza para cada tecnología (Autores, 2025).

En la Figura 3 se observa que el circuito de iluminación presenta las mayores diferencias térmicas entre tecnologías, con máximos registrados en los empalmes. En fuerza, los valores finales se reducen y se mantienen más próximos entre sí, lo que evidencia la influencia directa del nivel de carga en el comportamiento térmico.

Incremento térmico acumulado

Se analizó el incremento entre la temperatura inicial y la temperatura al minuto sesenta. Este parámetro permite evaluar la magnitud del calentamiento de cada tecnología.

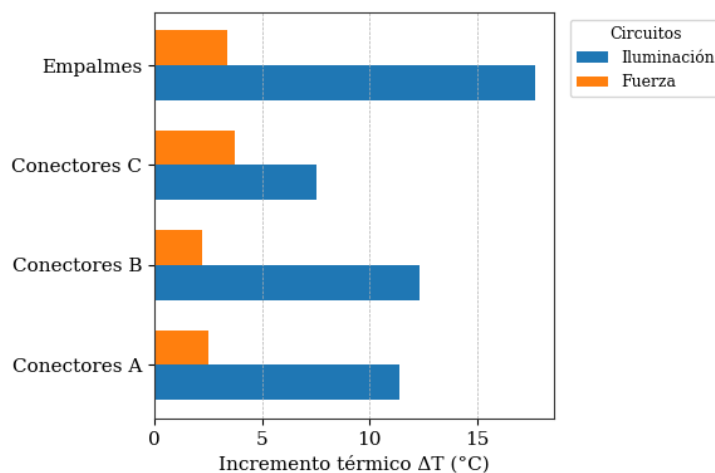
Tabla 4*Incremento térmico acumulado entre 0 y 60 minutos*

Tecnología	ΔT Iluminación (°C)	ΔT Fuerza (°C)
Conectores A	11,40	2,50
Conectores B	12,30	2,20
Conectores C	7,50	3,70
Empalmes	17,70	3,40

Nota: ΔT obtenido como diferencia entre el valor inicial y el valor final de temperatura (Autores, 2025).

Los empalmes exhiben el mayor incremento en iluminación, lo que demuestra su mayor sensibilidad térmica. Los conectores rápidos muestran un comportamiento más moderado, mientras que los conectores C presentan incrementos intermedios con mayor variabilidad.

La Figura 4 resume el incremento térmico acumulado entre el inicio y el minuto sesenta para cada tecnología en iluminación y fuerza. Este indicador complementa los valores medios y permite comparar la magnitud del calentamiento asociado a cada escenario.

Figura 4*Incremento térmico acumulado en iluminación y fuerza*

Nota: Incremento de temperatura entre el inicio del ensayo y el minuto sesenta para cada tecnología en los dos circuitos evaluados (Autores, 2025).

En la Figura 4 se evidencia que los empalmes registran el mayor incremento térmico en iluminación, lo que refleja su mayor sensibilidad bajo carga continua. Los conectores rápidos presentan valores moderados, mientras que los C se ubican en un nivel intermedio. En fuerza, los incrementos son reducidos y más uniformes en todas las tecnologías.

Variabilidad térmica entre puntos de unión

La uniformidad térmica se evaluó mediante el cálculo de la desviación estándar promedio entre los puntos de cada circuito.

Tabla 5

Desviación estándar promedio entre puntos de unión

Tecnología	Iluminación (°C)	Fuerza (°C)
Conectores A	1,18	0,61
Conectores B	1,26	0,64
Conectores C	2,68	1,14
Empalmes	4,02	1,39

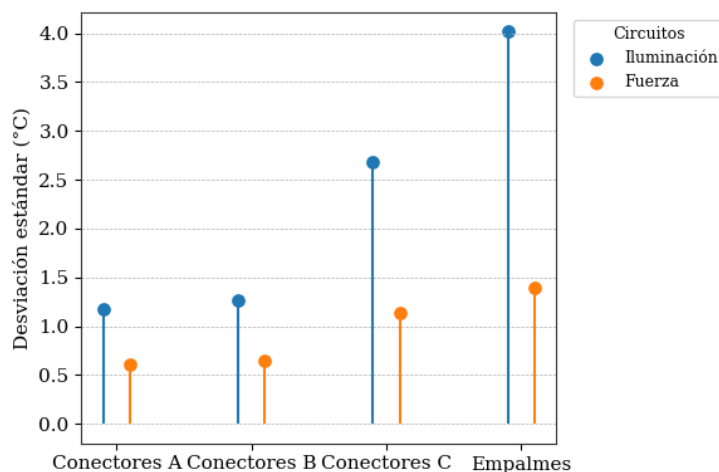
Nota: Valores correspondientes a la dispersión térmica entre los puntos C1–C12 y C13–C22 (Autores, 2025).

Los empalmes muestran la mayor dispersión, particularmente en iluminación. Los conectores rápidos mantienen los valores más bajos, lo que indica mayor homogeneidad estructural y un comportamiento térmico más estable.

La Figura 5 presenta la variabilidad térmica entre los puntos de unión de cada tecnología en los circuitos de iluminación y fuerza. Esta representación permite evaluar la uniformidad térmica interna y detectar diferencias asociadas a la estabilidad mecánica de cada unión.

Figura 5

Variabilidad térmica entre puntos de unión en iluminación y fuerza



Nota: Desviación estándar promedio entre los puntos de unión de cada tecnología en ambos circuitos (Autores, 2025).

En la Figura 5 se aprecia que los empalmes presentan la mayor dispersión térmica, especialmente en iluminación, lo que indica menor uniformidad entre puntos equivalentes. Los

conectores A y B mantienen los valores más bajos, mientras que los conectores C ocupan un nivel intermedio, coherente con su comportamiento térmico global.

Parámetros eléctricos registrados

Se verificó que todos los ensayos se desarrollaran bajo condiciones eléctricas estables.

La Tabla 6 presenta los parámetros registrados durante la operación continua.

Tabla 6

Parámetros eléctricos durante la operación continua

Tecnología	V _{min} (V)	V _{max} (V)	THD _v (%)	h ₃ V (%)
Conectores A	121,10	123,40	2,85	2,51
Conectores B	120,90	123,10	2,62	2,34
Conectores C	120,20	122,40	2,74	2,48
Empalmes	119,60	121,90	2,68	2,41

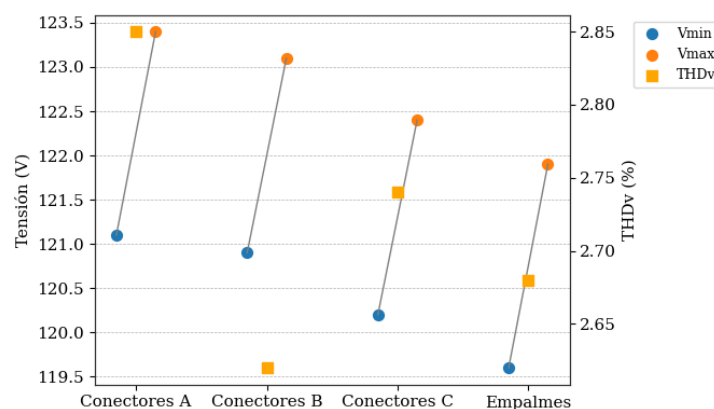
Nota: Valores obtenidos en el punto común de alimentación durante los ensayos (Autores, 2025).

Los parámetros permanecieron dentro de rangos consistentes entre tecnologías, lo que garantiza que las variaciones térmicas se deban al comportamiento propio de cada unión y no a fluctuaciones externas.

La Figura 6 reúne los valores de tensión mínima, tensión máxima y contenido armónico total de tensión registrados durante los ensayos. Esta figura permite verificar la estabilidad eléctrica del sistema y asegurar que las condiciones de alimentación se mantuvieron constantes en todas las tecnologías.

Figura 6

Parámetros eléctricos durante la operación continua



Nota: Valores de tensión mínima y máxima, junto con el contenido armónico total de tensión registrados durante los ensayos (Autores, 2025).

En la Figura 6 se observa que los valores de tensión y contenido armónico permanecen dentro de rangos estrechos y consistentes entre tecnologías. Esta estabilidad confirma que las diferencias térmicas registradas dependen del comportamiento propio de cada unión y no de fluctuaciones externas de la red.

Discusión

Los resultados obtenidos evidencian diferencias claras en el desempeño térmico de las tecnologías evaluadas bajo condiciones de operación continua. La respuesta de cada unión confirma que la estabilidad mecánica y la consistencia interna del mecanismo de sujeción influyen directamente en la disipación térmica, tal como se plantea en los fundamentos teóricos sobre resistencia de contacto y efecto Joule. Las temperaturas más elevadas en los empalmes tradicionales y su mayor variabilidad entre puntos reflejan la sensibilidad de estas uniones a irregularidades en la presión de contacto y a la ejecución manual, lo que coincide con lo documentado en estudios previos sobre uniones residenciales.

Los conectores rápidos mostraron un comportamiento térmico más estable, tanto en iluminación como en fuerza. Las diferencias reducidas entre los conectores A y B sugieren que el diseño interno del mecanismo de palanca proporciona una presión de contacto uniforme y suficiente para limitar la dispersión térmica, incluso bajo calentamiento sostenido. La respuesta de los conectores C, con valores intermedios, indica que la estabilidad térmica depende no solo del principio de funcionamiento, sino también de la calidad constructiva y de los materiales empleados.

La mayor sensibilidad térmica del circuito de iluminación confirma el rol determinante de la demanda de carga en el incremento térmico. La comparación con el circuito de fuerza demuestra que, bajo condiciones eléctricas estables, la magnitud del calentamiento depende

principalmente del nivel de corriente y de la resistencia efectiva de la unión. Esta relación lineal se mantuvo de manera consistente en todas las tecnologías.

Finalmente, los parámetros eléctricos registraron variaciones mínimas durante los ensayos, lo que descarta la influencia de fluctuaciones de tensión o distorsión armónica en las diferencias térmicas observadas. La estabilidad eléctrica obtenida asegura que los resultados térmicos reflejan el comportamiento propio de cada tecnología y permite establecer comparaciones válidas entre ellas. En conjunto, los hallazgos confirman que los conectores rápidos ofrecen un desempeño térmico más confiable para aplicaciones residenciales bajo régimen continuo, mientras que los empalmes tradicionales presentan limitaciones asociadas a su variabilidad estructural

Conclusión

El análisis experimental realizado demuestra que el desempeño térmico de las tecnologías de unión eléctrica difiere de manera significativa bajo régimen continuo de operación. Los conectores rápidos presentan la respuesta más estable, con incrementos térmicos moderados y una variabilidad reducida entre puntos de unión, lo que evidencia una sujeción mecánica consistente y una disipación más uniforme. Esta condición favorece su aplicación en instalaciones residenciales que requieren continuidad operativa y estabilidad frente a cargas sostenidas.

Los empalmes tradicionales registraron las temperaturas más altas y la mayor dispersión térmica, lo que confirma su sensibilidad a variaciones en la presión de contacto y a la ejecución manual. Este comportamiento limita su confiabilidad en escenarios donde la calidad de la unión debe mantenerse constante en el tiempo y bajo calentamiento progresivo.

La comparación entre circuitos mostró que la demanda de carga influye de manera directa en la magnitud del calentamiento, con valores más altos en iluminación y diferencias

menos marcadas en fuerza. Esta relación confirma que, bajo condiciones eléctricas estables, la corriente es el factor determinante en la respuesta térmica de las uniones.

Los parámetros eléctricos registrados se mantuvieron dentro de rangos estrechos y consistentes durante los ensayos, lo que asegura que las diferencias térmicas observadas reflejan el comportamiento intrínseco de cada tecnología y no dependen de variaciones externas de la red. Este aspecto refuerza la validez comparativa de los resultados obtenidos.

En conjunto, los hallazgos indican que los conectores eléctricos rápidos constituyen una opción técnicamente más adecuada que los empalmes tradicionales para aplicaciones residenciales sometidas a operación continua. Su mayor estabilidad térmica, menor dispersión y respuesta uniforme los posicionan como una alternativa más confiable para garantizar la seguridad y el desempeño de las instalaciones eléctricas en baja tensión.

Referencias bibliográficas

- Antonini, G., Orlandi, A., & Romano, D. (2010). *Electrical contact behavior: Modeling and experimental characterization*. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 33(3), 563–572. <https://doi.org/10.1109/TCAPT.2010.2048339>
- Belmonte, A., Mazzanti, G., & Montanari, G. C. (2018). *Thermal endurance and degradation mechanisms of low-voltage cable joints*. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 25(3), 892–900. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2018.006635>
- Bernardi, M., & Peruzzotti, S. (2019). *Thermal performance assessment of electrical joints under continuous operation*. Electric Power Systems Research, 175, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.105913>
- Braunovic, M., Myshkin, N., & Konchits, V. V. (2007). *Electrical contacts: Fundamentals, applications and technology*. CRC Press.
- CENELEC. (2018). *EN 60228: Conductors of insulated cables*. European Committee for Electrotechnical Standardization.
- Cheng, Q., Zhou, X., & Wang, Y. (2021). *Thermal behavior and reliability analysis of electrical terminations under varying load conditions*. Energy and Buildings, 241, 110885. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110885>
- Holm, R. (2013). *Electric contacts: Theory and applications* (4th ed.). Springer.
- IEC. (2015). *IEC 60364-5-52: Low-voltage electrical installations – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems*. International Electrotechnical Commission.

- Kong, P., Liang, Z., & Xu, Y. (2017). *Analysis of heating behavior in low-voltage electrical joints under operational stress*. IEEE Transactions on Power Delivery, 32(5), 2103–2111. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2016.2613420>
- Liang, Z., Kong, P., & Xu, Y. (2020). *Performance evaluation of residential electrical connectors under thermal and electrical stress*. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 10(3), 447–456. <https://doi.org/10.1109/TCPMT.2019.2963524>
- Pires, A., & Dias, C. (2016). *Reliability assessment of residential electrical connections under continuous load*. Electrical Engineering, 98(4), 331–341. <https://doi.org/10.1007/s00202-016-0373-2>
- Slade, P. G. (2014). *Electrical contacts: Principles and applications* (2nd ed.). CRC Press.
- Usamentiaga, R., Venegas, P., Guerediaga, J., & Molleda, J. (2014). *Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing*. Infrared Physics & Technology, 61, 129–149. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2013.09.011>
- Wang, M., & Chen, L. (2019). *Temperature rise characteristics and failure modes in residential electrical connectors*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 109, 634–642. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.02.019>
- Xu, Y., Wu, J., & Zhao, D. (2018). *Thermal behavior of residential electrical connectors under steady load conditions*. Journal of Electrical Systems, 14(3), 421–430.