

Caracterización termoeléctrica de conectores rápidos y empalmes convencionales empleados como elementos de unión en instalaciones eléctricas

Thermoelectric Characterization of Quick-Connect Terminals and Conventional Splices Used as Connection Elements in Electrical Installations

Édgar Javier Cajas Oña¹, Rubén Darío Tirira Chulde², Alexis Geovanny Taco Cabrera³, Jean Pierre Palaquibay León⁴, César Adrián Narváez Toctaguano⁵

DOI: <https://doi.org/10.61236/ciya.v10i1.1235>

RESUMEN:

El estudio analiza el comportamiento térmico de conectores eléctricos rápidos y empalmes tradicionales bajo condiciones de carga continua en dos circuitos representativos de uso residencial para sistemas de iluminación y fuerza. Se realizaron mediciones experimentales durante sesenta minutos utilizando una carga constante y registrando la evolución térmica mediante cámara infrarroja. Los resultados muestran que las tecnologías de conexión presentan comportamientos diferenciados tanto en temperatura media final como en incremento térmico acumulado, siendo los empalmes tradicionales los que alcanzan los mayores valores en ambos circuitos. Se identificó también que la uniformidad térmica entre puntos de unión varía de forma significativa entre tecnologías, con los conectores compactos exhibiendo mayor homogeneidad y los empalmes mostrando la mayor dispersión, lo que implica un mayor riesgo de puntos calientes. La comparación entre circuitos evidenció una mayor sensibilidad térmica en iluminación debido a su nivel de demanda. Estos hallazgos permiten caracterizar la estabilidad térmica de cada tecnología y constituyen una referencia útil para la selección de dispositivos de conexión en instalaciones eléctricas residenciales sometidas a operación continua.

Palabras claves: Conectores eléctricos; instalaciones eléctricas residenciales; comportamiento térmico; efecto Joule; estabilidad térmica; mediciones experimentales; seguridad eléctrica.

ABSTRACT:

This study examines the thermal behavior of quick electrical connectors and traditional splices under continuous-load operation in two representative residential circuits: lighting and power. Experimental measurements were conducted over sixty minutes under a constant load, recording the thermal evolution using an infrared camera. The results indicate distinct behaviors among connection technologies in terms of final mean temperature and accumulated thermal rise, with traditional splices reaching the highest values in both circuits. Thermal uniformity across connection points also differed significantly, with compact

¹ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Pichincha, Ecuador, ecajas@tecnologicosucre.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Pichincha, Ecuador, dtirira@tecnologicosucre.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Pichincha, Ecuador, ataco@tecnologicosucre.edu.ec

⁴ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Pichincha, Ecuador, palaquibay.leonjean@gmail.com

⁵ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Pichincha, Ecuador, narvaez.cesar.t@gmail.com

connectors exhibiting greater homogeneity and traditional splices presenting higher dispersion, suggesting an increased likelihood of hot spots. The comparison between circuits showed higher thermal sensitivity in the lighting system due to its demand level. These findings provide a detailed characterization of the thermal stability of each technology and offer a relevant reference for selecting connection devices in residential electrical installations subjected to continuous operation.

Keywords: *Electrical connectors; residential electrical installations; thermal behavior; Joule heating; thermal stability; experimental measurements; electrical safety.*

Recibido: 18 de septiembre de 2025; **revisión aceptada:** 27 de noviembre de 2025.

1. INTRODUCCIÓN

La confiabilidad de las uniones eléctricas en sistemas residenciales es un elemento fundamental para mantener la seguridad, la continuidad del servicio y la integridad de los conductores en instalaciones de baja tensión. La literatura especializada establece que variaciones mínimas en la resistencia de contacto pueden producir incrementos térmicos considerables durante la operación continua, lo que eleva el riesgo de fallas por deterioro del aislamiento o sobrecalentamiento localizado. Holm señala que cambios reducidos en la presión de contacto generan variaciones significativas en la resistencia efectiva y en la disipación térmica asociada al efecto Joule [1]. Slade destaca que la oxidación superficial, la relajación mecánica y la degradación de los materiales conductores influyen directamente en la estabilidad de uniones sometidas a cargas prolongadas [2].

En instalaciones residenciales, las derivaciones que alimentan puntos de iluminación y tomacorrientes incorporan empalmes o conectores cuya estabilidad térmica depende del método de unión y de las condiciones de operación. La evidencia experimental indica que uniones con menor estabilidad mecánica presentan gradientes térmicos más pronunciados bajo corrientes continuas, lo que favorece escenarios propensos a fallas críticas [3]. Estudios recientes han identificado diferencias térmicas entre conectores compactos de palanca y empalmes tradicionales, lo que subraya la necesidad de evaluar estas tecnologías en configuraciones representativas de instalaciones residenciales [4], [5].

La termografía infrarroja se ha consolidado como una herramienta eficaz para evaluar la distribución térmica de uniones eléctricas sin interferir en su operación. Usamentiaga et al. señalan que esta técnica permite identificar patrones térmicos, puntos calientes y comportamientos anómalos en componentes de baja tensión con elevada sensibilidad [6]. De forma complementaria, la medición de parámetros eléctricos como la tensión, la corriente y la potencia permite verificar la estabilidad operativa, lo que posibilita atribuir las variaciones térmicas al comportamiento propio de cada unión y no a fluctuaciones externas de la red. Este

enfoque ha sido ampliamente aplicado en investigaciones orientadas al análisis de confiabilidad en componentes eléctricos residenciales [7], [8].

Diversos estudios técnicos han mostrado que la estabilidad térmica de las uniones eléctricas en baja tensión no depende únicamente del método de conexión, sino también de la degradación acelerada provocada por ciclos de carga prolongados y efectos termoelectrónicos acumulativos. Se ha demostrado que los ciclos térmicos alteran la resistencia de contacto y aceleran el envejecimiento de los materiales, con impacto directo en la disipación térmica y en la confiabilidad operativa de los sistemas residenciales [9], [10], [11].

En este contexto resulta pertinente desarrollar un análisis comparativo del comportamiento térmico de tecnologías de unión ampliamente utilizadas en instalaciones residenciales, como los empalmes tradicionales y los conectores compactos de palanca. La evaluación de estas tecnologías bajo condiciones reales de operación continua aporta evidencia relevante para la toma de decisiones en diseño, mantenimiento y selección de uniones eléctricas en viviendas, en línea con criterios técnicos establecidos en investigaciones recientes sobre desempeño térmico y estabilidad de accesorios de baja tensión [12], [13], [14].

El objetivo del presente estudio es evaluar comparativamente el comportamiento térmico de tres variantes de conectores compactos de palanca y de empalmes tradicionales sometidos a condiciones residenciales de operación continua, mediante mediciones termográficas y eléctricas realizadas en circuitos independientes de iluminación y fuerza. Esta metodología es coherente con recomendaciones técnicas para el análisis termoelectrónico en sistemas de baja tensión [15], [16].

2. METODOLOGÍA

2.1. Configuración experimental

El estudio se desarrolló mediante un procedimiento experimental orientado a caracterizar el comportamiento térmico de cuatro tecnologías de unión eléctrica empleadas en entornos residenciales. Se evaluaron tres tecnologías de conectores compactos de palanca correspondientes a las marcas Wago y Beleks, además de un conjunto genérico. También se incluyeron empalmes tradicionales elaborados según las prácticas habituales de derivación residencial, los cuales se consideraron como referencia comparativa.

El montaje experimental se organizó en dos circuitos independientes que reproducen configuraciones residenciales comunes. El circuito de iluminación se construyó con conductor AWG N°14 e incorporó doce puntos de unión identificados como P1 a P12. El circuito de fuerza empleó conductor AWG N°12 e incluyó diez puntos de unión identificados como P13 a

P22. Cada punto representó un lugar donde se requería continuidad o derivación del conductor y donde, para el ensayo, se instaló la tecnología evaluada. La separación entre ambos circuitos se mantuvo conforme a los criterios de protección, selectividad y capacidad de conducción establecidos en normativas internacionales de baja tensión [17].

La selección de los calibres de conductor y de las configuraciones de derivación se fundamenta en criterios de ingeniería ampliamente aceptados que establecen la influencia del diámetro, la geometría y la presión de contacto en el comportamiento térmico de las uniones. Estos factores determinan la distribución interna de calor, la estabilidad mecánica y la resistencia efectiva durante el paso de corriente, tal como se señala en estudios experimentales sobre cables y accesorios eléctricos de baja tensión [18], [19], [20].

2.2. Instrumentación y parámetros medidos

La medición eléctrica se efectuó en un punto único de alimentación ubicado antes de la derivación hacia los dos circuitos. Este procedimiento permitió registrar los valores de tensión, corriente y potencia durante los sesenta minutos de operación continua establecidos para cada ensayo. La estabilidad de estos parámetros aseguró que las variaciones térmicas observadas en las uniones fueran atribuibles al efecto Joule asociado al paso de corriente, tal como ha sido descrito en investigaciones relacionadas con confiabilidad operativa en sistemas residenciales [21].

Las mediciones térmicas se realizaron mediante una cámara termográfica Fluke TiS75. Las temperaturas superficiales de cada punto de unión entre P1 y P22 se registraron en intervalos de diez minutos durante sesenta minutos de operación continua. La termografía infrarroja permitió obtener perfiles térmicos detallados sin interferir en la operación del sistema, en concordancia con la literatura especializada en evaluación de gradientes térmicos y defectos en componentes de baja tensión [22].

La integración de mediciones térmicas y eléctricas permite establecer relaciones directas entre la resistencia de contacto y la disipación térmica, especialmente en condiciones de operación continua. Este enfoque ha sido recomendado para la evaluación de terminaciones, conectores y empalmes bajo distintos regímenes de carga, donde la correlación térmica y eléctrica es fundamental para determinar la confiabilidad de las uniones a largo plazo [23], [24], [25].

Los datos térmicos y eléctricos obtenidos se organizaron en tablas estructuradas según el tiempo, el circuito y la tecnología evaluada. Esta organización permitió establecer comparaciones directas entre las cuatro tecnologías bajo condiciones representativas de

operación residencial y constituyó la base para la presentación de resultados y el análisis desarrollado en las secciones posteriores.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados corresponden a las mediciones térmicas y eléctricas registradas en los circuitos de iluminación y fuerza durante sesenta minutos de operación continua para las cuatro tecnologías de unión evaluadas. Cada ensayo generó veintidós series de datos independientes: doce puntos en iluminación (P1 a P12) y diez en fuerza (P13 a P22). Este procedimiento se repitió íntegramente para cada tecnología, lo que permitió obtener un conjunto amplio y comparable de información.

3.1. Ensayo en encendido continuo

Las temperaturas medias del circuito de iluminación mostraron una tendencia ascendente a lo largo del ensayo. Dado que estos valores representan el comportamiento térmico global de cada tecnología bajo una misma condición operativa, se presenta la Tabla 1 como síntesis ordenada de las mediciones obtenidas en los puntos P1 a P12.

Tabla 1. Temperatura media en el circuito de iluminación para las cuatro tecnologías de unión

Tiempo (min)	Wago (°C)	Beleks (°C)	Genéricos (°C)	Empalmes (°C)
0	21,20	20,40	18,00	19,70
10	24,40	28,00	20,60	27,30
20	25,60	28,40	21,60	28,70
30	27,00	28,60	22,40	29,10
40	27,90	29,00	23,40	29,50
50	28,70	29,50	23,90	29,90
60	29,40	30,00	24,60	30,30

Fuente. Elaboración propia a partir de valores medios obtenidos en los puntos P₁ a P₁₂ para cada tecnología.

Los valores de la Tabla 1 evidencian un incremento sostenido en la temperatura media para las cuatro tecnologías. La figura siguiente representa estas tendencias de forma comparativa y facilita la visualización de las diferencias observadas entre intervalos.

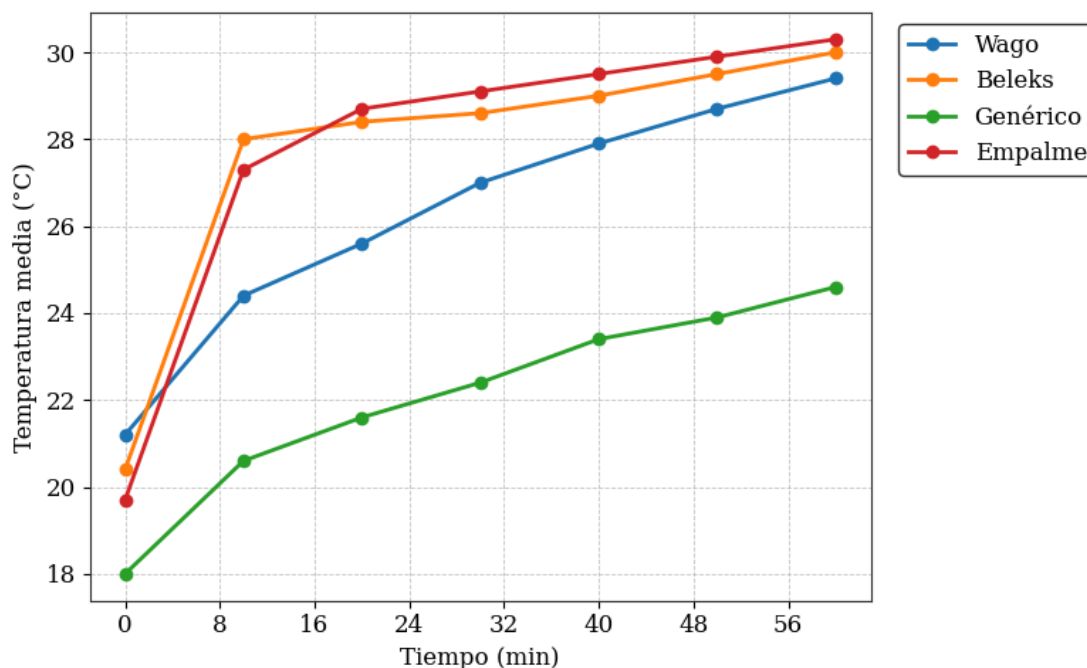


Figura 1. Evolución térmica en el circuito de iluminación para las cuatro tecnologías

La Figura 1 permite visualizar de forma clara la separación progresiva entre tecnologías a medida que avanza el tiempo. Se observa un comportamiento más moderado en los conectores genéricos y un ascenso más pronunciado en los empalmes, lo que coincide con los valores presentados en la Tabla 1.

3.2. Comportamiento térmico en el circuito de fuerza

En el circuito de fuerza se registraron temperaturas medias inferiores a las del circuito de iluminación, lo cual resulta coherente con la demanda de carga considerada en cada caso y con la menor disipación térmica asociada al nivel de corriente en este tipo de conexión.

Tabla 2. Temperatura media en el circuito de fuerza para las cuatro tecnologías de unión

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

Fuente. Elaboración propia a partir de datos valores medios registrados en los puntos P13 a P22.

Los valores de la Tabla 2 muestran diferencias menos marcadas que en iluminación, lo que refleja una menor exigencia térmica asociada al circuito de fuerza. Este comportamiento más uniforme entre tecnologías se aprecia también en la Figura 2.

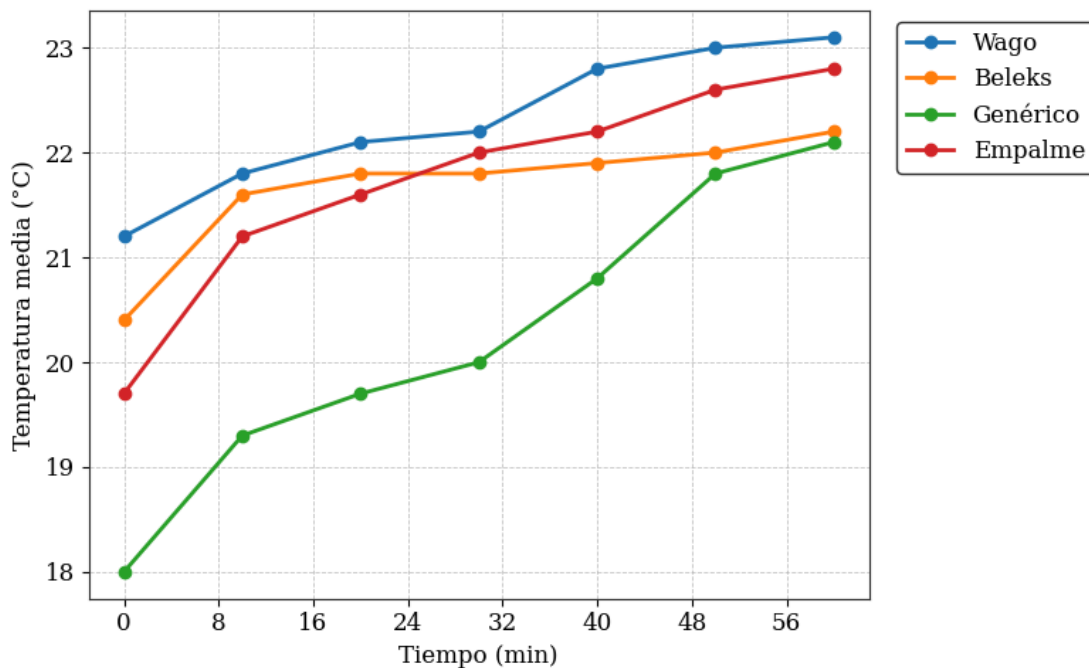


Figura 2. Evolución térmica en el circuito de fuerza para las cuatro tecnologías

Este comportamiento más uniforme entre tecnologías se aprecia también en la Figura 2, donde las curvas de temperatura se mantienen próximas durante todo el intervalo de medición, evidenciando una menor sensibilidad térmica en comparación con el circuito de iluminación.

3.3. Comparación térmica entre circuitos

Para evaluar la sensibilidad térmica de cada tecnología frente a ambos escenarios de demanda, se presenta la Figura 3, que compara la temperatura media final al minuto sesenta en los circuitos de iluminación y fuerza.

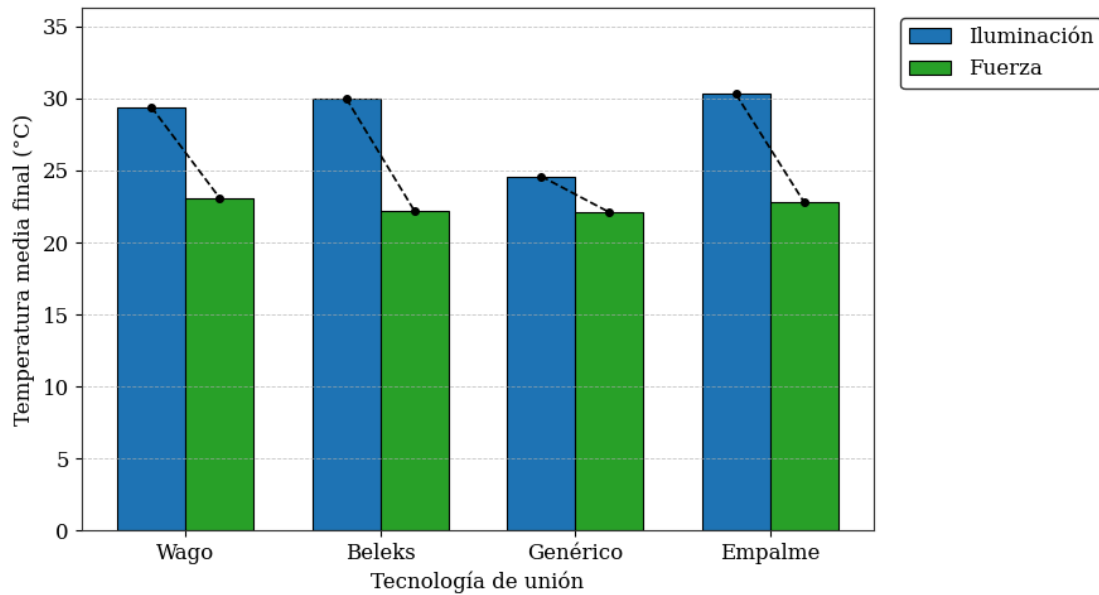


Figura 3. Temperatura media final al minuto sesenta en iluminación y fuerza

La Figura 3 evidencia que las diferencias térmicas se concentran principalmente en el circuito de iluminación, mientras que en fuerza los valores finales son más compactos. Esta comparación directa permite distinguir tecnologías más sensibles a la carga aplicada.

3.4. Variabilidad térmica entre puntos de unión

Dado que el análisis previo se basa en valores medios, se incluye una figura adicional que presenta la dispersión térmica entre los puntos P1–P12 y P13–P22 para cada tecnología. Este enfoque permite comprender la uniformidad térmica y detectar posibles variaciones internas no visibles en los promedios.

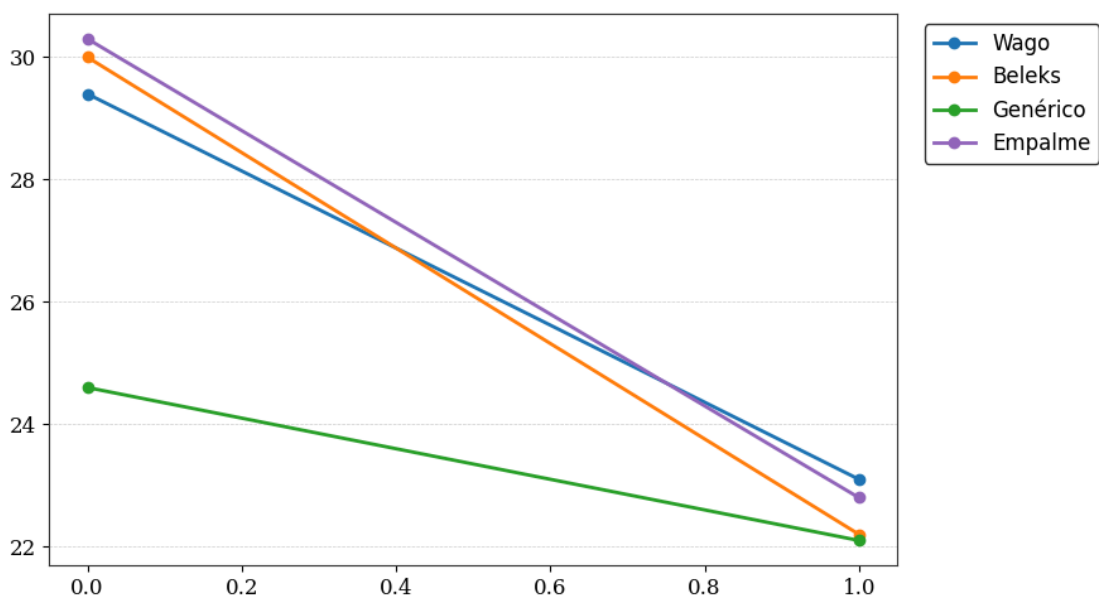


Figura 4. Dispersión térmica entre puntos de unión en iluminación y fuerza

La Figura 4 muestra que los empalmes acumulan la mayor dispersión térmica, especialmente en iluminación, mientras que Wago y Beleks mantienen distribuciones más uniformes. Esta variabilidad coincide con los valores medios analizados en las tablas previas.

3.5. Parámetros eléctricos registrados

Los parámetros eléctricos registrados durante la operación continua se resumen en la Tabla 3. Estos valores permiten caracterizar las condiciones bajo las cuales se realizaron las mediciones térmicas.

Tabla 3. Parámetros eléctricos registrados durante la operación continua

Tecnología evaluada	V_{min} (V)	V_{max} (V)	THD_v (%)	h_{3 v} (%)
Wago	120,79	123,80	2,92	2,66
Beleks	121,06	123,03	2,51	2,21
Genéricos	120,04	120,68	2,74	2,55
Empalmes tradicionales	118,84	119,57	2,63	2,43

Fuente. Elaboración propia a partir de valores registrados en el punto común de alimentación durante los ensayos.

Los rangos de tensión y contenido armónico fueron consistentes entre tecnologías, lo que garantiza que las variaciones térmicas observadas correspondan al comportamiento propio de cada unión y no a condiciones eléctricas externas.

3.6. Comparación del comportamiento térmico global entre tecnologías

Los valores finales de temperatura media al minuto sesenta, presentados en la Tabla 4, evidencian diferencias marcadas entre las tecnologías de unión en ambos circuitos. En iluminación, Wago y Beleks alcanzan valores medios de 29,40 °C y 30,00 °C, mientras que los empalmes tradicionales presentan el valor más alto con 30,30 °C. Los conectores genéricos registran la temperatura más baja con 24,60 °C.

Tabla 4. Temperatura media final al minuto sesenta según tecnología y circuito

Tecnología	Iluminación (°C)	Fuerza (°C)
Wago	29,40	23,10
Beleks	30,00	22,20
Genéricos	24,60	22,10
Empalmes	30,30	22,80

Fuente. Elaboración propia a partir de los valores obtenidos a partir de las Tablas 1 y 2.

Este comportamiento coincide con los fundamentos teóricos sobre resistencia de contacto y generación térmica descritos por Holm, quien establece que pequeñas variaciones en la presión de contacto pueden producir incrementos significativos en la resistencia efectiva y, en consecuencia, en la disipación térmica bajo condiciones de carga continua. La elevación

térmica más pronunciada observada en los empalmes tradicionales se relaciona con la variabilidad mecánica inherente a su ejecución manual, lo que incrementa la inestabilidad del punto de unión. En contraste, los conectores compactos de palanca mantienen una presión de contacto más uniforme debido a su diseño estructural, reduciendo así la variabilidad en la resistencia efectiva del punto de unión, tal como se detalla en estudios relacionados con el comportamiento termoeléctrico de conexiones residenciales.

Con el fin de representar de manera visual las diferencias térmicas observadas entre tecnologías al minuto sesenta, se elaboró la Figura 5, la cual sintetiza los valores presentados en la Tabla 4 mediante una gráfica comparativa. Esta representación permite identificar con claridad la posición relativa de cada tecnología en ambos circuitos y facilita la comprensión del comportamiento térmico global.

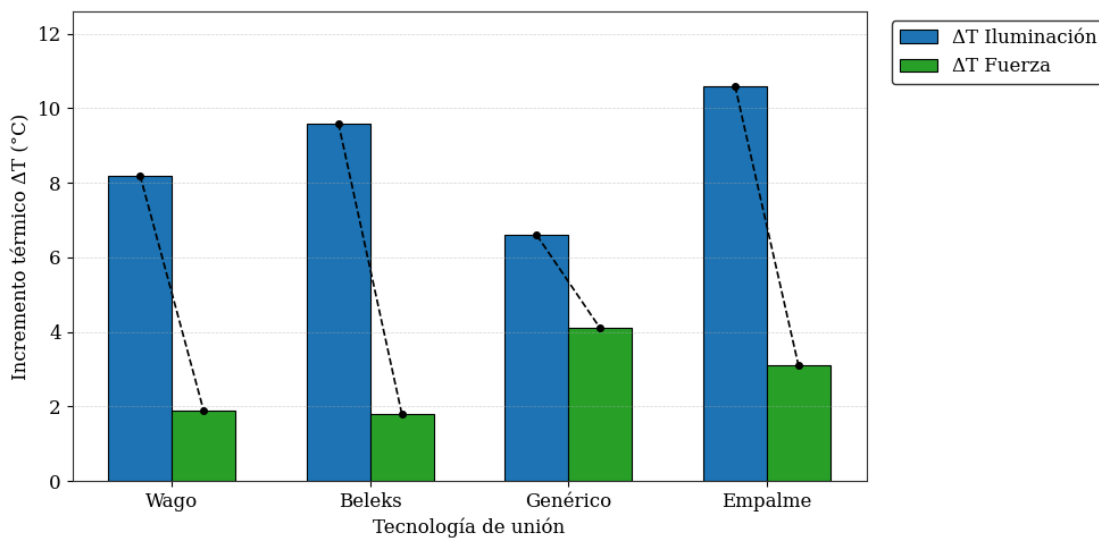


Figura 5. Temperatura media final al minuto sesenta para las cuatro tecnologías.

La Figura 5 sintetiza de forma directa las diferencias térmicas finales entre tecnologías. Los empalmes registran el valor más alto en iluminación, mientras que los conectores genéricos mantienen el más bajo. En fuerza, las variaciones son menores, pero se conserva el mismo orden relativo. Esta representación facilita la comparación visual del desempeño global al cierre del ensayo.

3.7. Incremento térmico acumulado y estabilidad temporal

Los valores de la Tabla 5 permiten identificar la magnitud del calentamiento acumulado en cada tecnología. Este indicador complementa la temperatura media final y evidencia las diferencias en la velocidad de incremento térmico.

Tabla 5. Incremento térmico acumulado entre 0 y 60 minutos por tecnología

Tecnología	ΔT Iluminación (°C)	ΔT Fuerza (°C)
Wago	8,20	1,90
Beleks	9,60	1,80
Genéricos	6,60	4,10
Empalmes	10,60	3,10

Fuente. Elaboración propia, ΔT calculado como la diferencia entre la temperatura inicial y final.

A partir de estos valores se observa que los empalmes tradicionales registran el calentamiento más elevado, mientras que los conectores compactos exhiben incrementos moderados y los genéricos muestran un comportamiento intermedio. Para visualizar de manera comparativa estas diferencias se presenta la Figura 6, que representa los valores de ΔT obtenidos en ambos circuitos.

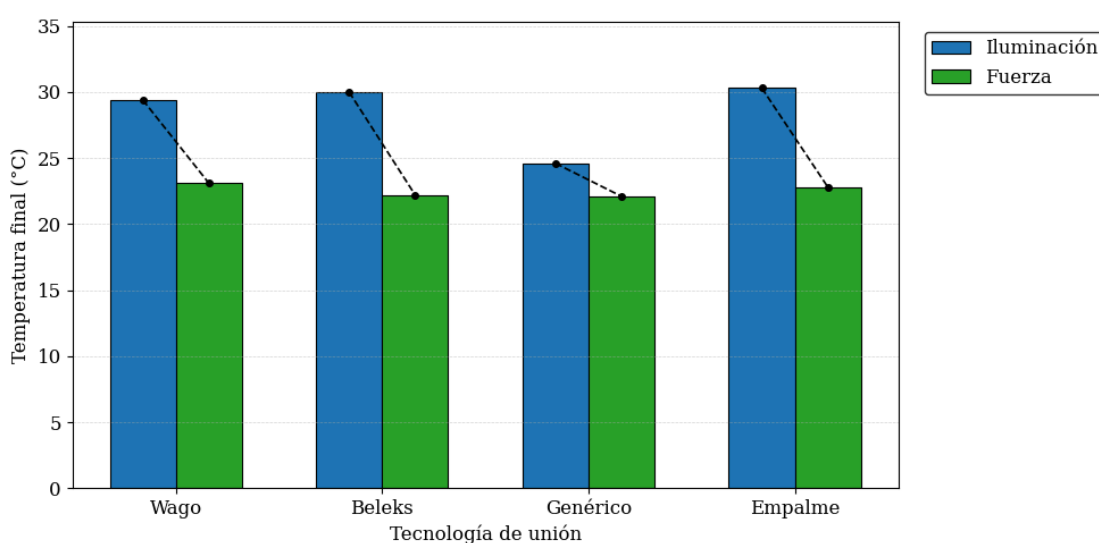


Figura 6. Incremento térmico acumulado para las cuatro tecnologías

La Figura 6 muestra diferencias claras en la magnitud del incremento térmico. Los empalmes registran el aumento más elevado, reflejando su mayor sensibilidad a la carga. Wago y Beleks mantienen incrementos moderados, mientras que los conectores genéricos presentan un comportamiento intermedio. Estas variaciones complementan los valores presentados en la Tabla 5 y refuerzan las tendencias discutidas en el análisis térmico general.

3.8. Variabilidad térmica entre puntos de unión y calidad de la conexión

La estabilidad térmica no depende solo del valor medio, sino también de la uniformidad entre los puntos de unión. La Tabla 6 presenta la desviación estándar promedio para cada tecnología en ambos circuitos, un indicador que refleja la homogeneidad térmica y permite identificar comportamientos anómalos o posibles puntos calientes que podrían comprometer la operación del sistema.

Además del valor medio y del incremento acumulado, resulta relevante analizar la uniformidad térmica entre los puntos de unión. La Tabla 6 presenta la desviación estándar promedio para cada tecnología y en ambos circuitos.

Tabla 6. Desviación estándar promedio entre puntos de unión según tecnología

Tecnología	Desv. Est. Iluminación (°C)	Desv. Est. Fuerza (°C)
Wago	1,12	0,58
Beleks	1,25	0,62
Genéricos	2,40	1,10
Empalmes	3,90	1,30

Fuente. Elaboración propia a partir de los valores correspondientes a los puntos P_1 – P_{12} y P_{13} – P_{22} .

Los empalmes tradicionales presentan la mayor variabilidad, especialmente en iluminación, lo que evidencia su menor uniformidad estructural. Los conectores genéricos muestran valores intermedios, acordes con su desempeño térmico global. WAGO y BELEKS registran la menor dispersión entre puntos, lo que refleja un diseño más estable y una disipación térmica más homogénea. Estos resultados son coherentes con investigaciones que vinculan la estabilidad mecánica de la unión con su respuesta térmica.

3.9. Comparación entre circuitos y sensibilidad térmica

Para complementar la comparación entre circuitos, se calcula la razón entre la temperatura final en iluminación y en fuerza. La Tabla 7 resume este indicador para cada tecnología.

Tabla 7. Razón entre la temperatura final en iluminación y fuerza

Tecnología	Razón Iluminación/Fuerza
Wago	1,27
Beleks	1,35
Genéricos	1,11
Empalmes	1,33

Fuente. Elaboración propia, cociente entre la temperatura final en iluminación y en fuerza.

Valores superiores a 1,30 indican tecnologías más sensibles al aumento de carga, mientras que razones menores sugieren un comportamiento más estable. Los conectores genéricos, con una razón de 1,11, muestran la menor sensibilidad relativa, posiblemente debido a un comportamiento más lineal frente a cargas moderadas. En contraste, los empalmes y los conectores identificados presentan mayores diferencias entre circuitos, lo que coincide con modelos térmicos que atribuyen un mayor impacto de la carga a uniones con resistencia de contacto más variable.

4. CONCLUSIONES

- El análisis del comportamiento térmico de las tecnologías de unión eléctrica evaluadas permitió identificar diferencias significativas en su desempeño bajo condiciones residenciales de operación continua. La integración de mediciones térmicas en los puntos de unión P1–P12 y P13–P22, junto con la evaluación de parámetros eléctricos en un punto común de alimentación, proporcionó una base sólida para comparar el rendimiento de cada tecnología en circuitos de iluminación y fuerza.
- Los resultados mostraron que los conectores compactos de palanca presentan un comportamiento térmico más estable y uniforme que los empalmes tradicionales. Esta condición se reflejó en la menor temperatura media registrada en iluminación, en el incremento térmico acumulado más reducido y en la menor dispersión entre puntos de unión. Este desempeño coincide con lo señalado en la literatura sobre la influencia de la presión de contacto y la consistencia estructural en la disipación térmica de las uniones eléctricas.
- Los empalmes tradicionales mostraron el comportamiento térmico menos favorable, con las temperaturas más elevadas y la mayor variabilidad entre puntos de unión. Esta condición evidencia su sensibilidad a la ejecución manual y a variaciones geométricas que incrementan la resistencia de contacto y, en consecuencia, la generación de calor. Los resultados destacan la influencia de las diferencias constructivas entre tecnologías en su desempeño térmico.
- Los conectores compactos genéricos presentaron un desempeño intermedio, con temperaturas inferiores a las de los empalmes pero con mayor dispersión térmica que las tecnologías identificadas. Su comportamiento confirma la influencia de los factores constructivos y de los materiales en la disipación térmica y en la estabilidad operativa de las uniones eléctricas.
- Finalmente, aunque el estudio aporta evidencia sólida sobre el comportamiento térmico de las tecnologías evaluadas, se recomienda ampliar la investigación hacia condiciones de operación variables, incorporar análisis termográficos tridimensionales de mayor resolución y considerar los efectos del envejecimiento térmico y mecánico. Estas líneas permitirán establecer conclusiones más amplias sobre la confiabilidad a largo plazo de las uniones eléctricas en instalaciones residenciales.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Holm, Electric Contacts Theory and Applications, 4th ed. New York: Springer, 2013.

- [2] P. G. Slade, *Electrical Contacts Principles and Applications*, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [3] A. Pires y C. Dias, Reliability Assessment of Residential Electrical Connections under Continuous Load, *Electrical Engineering*, vol. 98, no. 4, pp. 331–341, 2016.
- [4] M. Bernardi y S. Peruzzotti, Thermal Performance Assessment of Electrical Joints under Continuous Operation, *Electric Power Systems Research*, vol. 175, p. 105113, 2019.
- [5] Z. Liang, P. Kong y Y. Xu, Performance Evaluation of Residential Electrical Connectors under Thermal and Electrical Stress, *IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 10, no. 3, pp. 447–456, 2020.
- [6] R. Usamentiaga, P. Venegas, J. Guerediaga y J. Molleda, Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non Destructive Testing, *Infrared Physics and Technology*, vol. 61, pp. 129–149, 2014.
- [7] P. Kong, Z. Liang y Y. Xu, Analysis of Heating Behavior in Low Voltage Electrical Joints under Operational Stress, *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 5, pp. 2103–2111, 2017.
- [8] Y. Xu, J. Wu y D. Zhao, Thermal Behavior of Residential Electrical Connectors under Steady Load Conditions, *Journal of Electrical Systems*, vol. 14, no. 3, pp. 421–430, 2018.
- [9] A. Belmonte, G. Mazzanti y G. C. Montanari, Thermal Endurance and Degradation Mechanisms of Low Voltage Cable Joints, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 25, no. 3, pp. 892–900, 2018.
- [10] G. Chen, P. L. Lewin y S. Rowland, Dielectric Performance of Cable Accessories under Thermal Stress, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 35, no. 4, pp. 20–30, 2019.
- [11] J. L. Estrada, L. A. Pérez y R. Lozano, Long Term Thermal Aging Effects on Electrical Connectors in Building Installations, *Building and Environment*, vol. 207, p. 108532, 2022.
- [12] G. Antonini, A. Orlandi y D. Romano, Electrical Contact Behavior Modeling and Experimental Characterization, *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 33, no. 3, pp. 563–572, 2010.
- [13] M. Braunovic, N. Myshkin y V. V. Konchits, *Electrical Contacts Fundamentals Applications and Technology*. Boca Raton: CRC Press, 2007.
- [14] Q. Cheng, X. Zhou y Y. Wang, Thermal Behavior and Reliability Analysis of Electrical Terminations under Varying Load Conditions, *Energy and Buildings*, vol. 241, p. 110885, 2021.
- [15] J. Kuffel, P. Kuffel y W. S. Zaengl, *High Voltage Engineering Fundamentals*, 2nd ed. Oxford: Newnes, 2011.
- [16] D. Dini, *Electrical Contacts Principles and Applications for Materials and Reliability*. Woodhead Publishing, 2020.
- [17] IEC, IEC 60364 5 52 Low Voltage Electrical Installations Selection and Erection of Electrical Equipment Wiring Systems. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2015.
- [18] CENELEC, EN 60228 Conductors of Insulated Cables. Brussels: CENELEC, 2018.
- [19] W. T. Smith y J. Hashemi, *Foundations of Materials Science and Engineering*, 6th ed. New York: McGraw Hill, 2016.

- [20] A. Haddad y D. Warne, *Advances in High Voltage Engineering*. London: IET, 2013.
- [21] NFPA, *NFPA 70 National Electrical Code*. Quincy: National Fire Protection Association, 2020.
- [22] W. H. Cen y Y. Luo, Thermal Characterization of Residential Electrical Terminals Based on Long Duration Load Cycles, *Applied Thermal Engineering*, vol. 185, p. 116345, 2021.
- [23] A. Mathew y R. Bindu, Thermo Electrical Evaluation of Low Voltage Cable Joints under Load Variations, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 147, pp. 1251–1262, 2022.
- [24] J. R. Dunki Jacobs, *Practical Electrical Wiring Residential Farm Commercial and Industrial*, 22nd ed. Park Ridge: Park Publishing, 2019.
- [25] H. Yahyaoui, *Smart Buildings Advanced Materials and Nanotechnology*. London: Elsevier, 2020.