

## Dilatación térmica de electroconductores en torno al efecto Hotspot de conectores placa-cable y pernos inoxidables

*Thermal expansion of electroconductors around the Hotspot effect of cable-plate connectors and stainless steel bolts*

*Expansão térmica de eletrocondutores em torno do efeito Hotspot de conectores de placa de cabo e parafusos de aço inoxidável*

Omar Danilo Briones Pacheco<sup>1</sup>  
Instituto Superior Tecnológico Portoviejo

[omar.briones@itsup.edu.ec](mailto:omar.briones@itsup.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0003-5584-4198>



Erivel Pérez Fernández<sup>2</sup>  
Instituto Superior Tecnológico Portoviejo

[erivel.perez@itsup.edu.ec](mailto:erivel.perez@itsup.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-7522-6827>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE1/811>

### Como citar:

Briones, O. & Perez, E. (2025). Dilatación térmica de electroconductores en torno al efecto Hotspot de conectores placa-cable y pernos inoxidables. *Código Científico Revista de Investigación*, 6(E1), 2185-2206.

**Recibido:** 18/02/2025

**Aceptado:** 12/03/2025

**Publicado:** 31/03/2025

## Resumen

En las instalaciones eléctricas, el efecto Hotspot radica en la formación de puntos calientes locales por la inadecuada resistencia electrotérmica de sus materiales y su tendencia a dilatarse propiciando daños estructurales por deformación, pérdidas energéticas e incendios; se destaca principalmente en los conectores placa-cable y los pernos de acero inoxidable y la clave de esto está en su coeficiente de dilatación térmica. La hipótesis establece que los materiales no cumplen con las exigencias del sistema y favorecen este fenómeno. El objetivo es evaluar el vínculo existente entre este efecto y la dilatación de estos elementos, así como su grado de incidencia en las instalaciones, para proponer alternativas a favor de la eficiencia energética. Para su comprobación se realizaron prácticas experimentales sobre el incremento de la longitud respecto a la temperatura efectuadas en laboratorio simulando las mismas condiciones. Los resultados confirmaron una correlación directa entre la dilatación térmica y la formación de puntos calientes, validando la hipótesis inicial. Se determinó que los pernos se dilatan en menor grado en comparación con los conectores, sufriendo deformaciones por la expansión de las placas y se planteó soluciones sobre alternativas del uso materiales con coeficientes de dilatación lo más cercano a la igualdad.

**Palabras clave:** efecto Hotspot, dilatación térmica, eficiencia energética.

## Abstract

In electrical installations, the Hotspot effect lies in the formation of local hot spots due to the inadequate electrothermal resistance of their materials and their tendency to expand, causing structural damage due to deformation, energy losses and fires; it is mainly highlighted in plate-cable connectors and stainless steel bolts and the key to this lies in their thermal expansion coefficient. The hypothesis establishes that the materials do not meet the system requirements and favor this phenomenon. The objective is to evaluate the existing link between this effect and the dilatation of these elements, as well as its degree of incidence in the installations, in order to propose alternatives in favor of energy efficiency. For its verification, experimental practices on the increase of the length with respect to the temperature were carried out in the laboratory simulating the same conditions. The results confirmed a direct correlation between thermal expansion and the formation of hot spots, validating the initial hypothesis. It was determined that the bolts expand to a lesser degree compared to the connectors, suffering deformations due to the expansion of the plates, and solutions were proposed for alternatives using materials with expansion coefficients as close to equal as possible.

**Keywords:** Hotspot effect, thermal expansion, energy efficiency.

## Resumo

Em instalações elétricas, o efeito Hotspot consiste na formação de pontos quentes locais devido à resistência eletrotérmica inadequada de seus materiais e sua tendência a se expandir, causando danos estruturais por deformação, falhas de circuito, perdas de energia e incêndios; ele é encontrado principalmente em conectores de cabo de placa e parafusos de aço inoxidável, e a chave para isso está em seu coeficiente de expansão térmica. A hipótese afirma que os materiais não atendem aos requisitos do sistema e favorecem esse fenômeno. O objetivo é avaliar a

relação entre esse efeito e a dilatação desses elementos, bem como seu grau de impacto nas instalações, para propor alternativas em favor da eficiência energética. Para verificar isso, foram realizados experimentos em laboratório simulando as mesmas condições sobre o aumento do comprimento em relação à temperatura. Os resultados confirmaram uma correlação direta entre a expansão térmica e a formação de pontos quentes, validando a hipótese inicial. Foi determinado que os parafusos se expandem em um grau menor em comparação com os conectores, sofrendo deformações devido à expansão das placas, e foram propostas soluções para alternativas usando materiais com coeficientes de expansão o mais próximo possível da igualdade.

**Palavras-chave:** Efeito Hotspot, expansão térmica, eficiência energética.

## Introducción

Según (Rodríguez Atienza, 2020), la continuidad en los servicios públicos es esencial, ya que muchas personas dependen de ellos. La electricidad es un recurso fundamental para el desarrollo de la humanidad y su progreso, ya que constituye la base del funcionamiento de diversos sistemas, máquinas y dispositivos en entornos médicos, domésticos e industriales. La importancia de la electricidad radica en su impacto en la calidad de vida, el crecimiento económico, la educación, la seguridad, la comunicación y la innovación. Por ello, no solo es crucial su generación, sino también su transporte y distribución eficiente a los puntos de consumo.

Las instalaciones eléctricas son estructuras diseñadas para transformar la electricidad de alta a media y baja tensión, permitiendo su distribución en hogares, industrias y comercios según las necesidades energéticas. Estas instalaciones cuentan con diversos componentes eléctricos para controlar el flujo de corriente y garantizar la seguridad del sistema y del personal operativo. Sin embargo, el manejo de voltajes elevados presenta desafíos, especialmente cuando las instalaciones no cumplen con las especificaciones técnicas o son afectadas por factores ambientales, como la temperatura. Acorde a (Dominguez Vite, Sanchez Proaño, & Cudco Rojas, 2023), señalan que el sobrecalentamiento puede ocurrir por conexiones defectuosas, sobrecargas, desequilibrios de carga o fallos en los componentes eléctricos, aumentando el riesgo de fallas y afectando la eficiencia del sistema.

El aumento de temperatura en los sistemas eléctricos puede provocar apagones inesperados y pérdidas energéticas. Además, conforme con (Rodríguez Atienza, 2020), si no se controla adecuadamente, el calor puede acumularse hasta niveles en los que las conexiones eléctricas se funden, lo que incrementa la probabilidad de incendios e incluso explosiones. La temperatura es, por tanto, un factor crítico en la seguridad y operatividad de las instalaciones eléctricas, ya que impacta tanto en la eficiencia del sistema como en la prevención de accidentes laborales.

Uno de los principales problemas térmicos en instalaciones eléctricas es el efecto Hotspot, el cual se genera cuando aparecen puntos calientes localizados en zonas específicas de la red eléctrica. Este fenómeno ocurre debido a la baja resistencia térmica de ciertos materiales conductores y su tendencia a expandirse con el calor. Factores como la tensión excesiva prolongada, el deterioro de los componentes y la insuficiente disipación térmica favorecen la formación de puntos calientes, lo que compromete la seguridad del sistema. (Rodríguez Atienza, 2020) enfatiza que, las inspecciones termográficas son herramientas clave para detectar estos puntos críticos, evaluar su impacto y establecer medidas correctivas oportunas.

La principal causa del efecto Hotspot radica en la calidad de los materiales conductores empleados en las instalaciones eléctricas. Como señala (Vásquez Ponce, 2015), el coeficiente de dilatación térmica es un factor determinante en la resistencia mecánica de un material, ya que determina en qué medida este se expande al aumentar su temperatura. Si un material no posee un coeficiente de dilatación térmica adecuado, su estructura puede deformarse, alterando sus propiedades mecánicas y eléctricas, lo que a su vez afecta la continuidad del suministro eléctrico.

Las instalaciones de media tensión son especialmente vulnerables a estos efectos, ya que operan con corrientes elevadas que generan calor en los puntos de conexión. Este fenómeno

se ha identificado en la Subestación Eléctrica Portoviejo 1, donde el efecto Hotspot se ha observado en los conectores placa-cable y en los pernos de acero inoxidable que los sujetan.

Dado este problema, la presente investigación busca responder la siguiente pregunta: ¿Cuál es la relación entre el efecto Hotspot y el coeficiente de dilatación térmica de los conectores placa-cable y los pernos de acero inoxidable en una instalación de media tensión?

La hipótesis de este estudio plantea que los materiales empleados en los conectores placa-cable y en los pernos de acero inoxidable no cumplen con las características de dilatación térmica adecuadas, lo que favorece a la formación del efecto Hotspot en estas conexiones y reduce la eficiencia energética de la Subestación Eléctrica Portoviejo 1.

Por ello, el objetivo principal es analizar la relación entre el coeficiente de dilatación térmica de estos materiales y la aparición del efecto Hotspot, determinando su impacto en la seguridad y operatividad del sistema eléctrico. A partir de estos hallazgos, se propondrán soluciones técnicas para mitigar este problema y mejorar la confiabilidad del sistema.

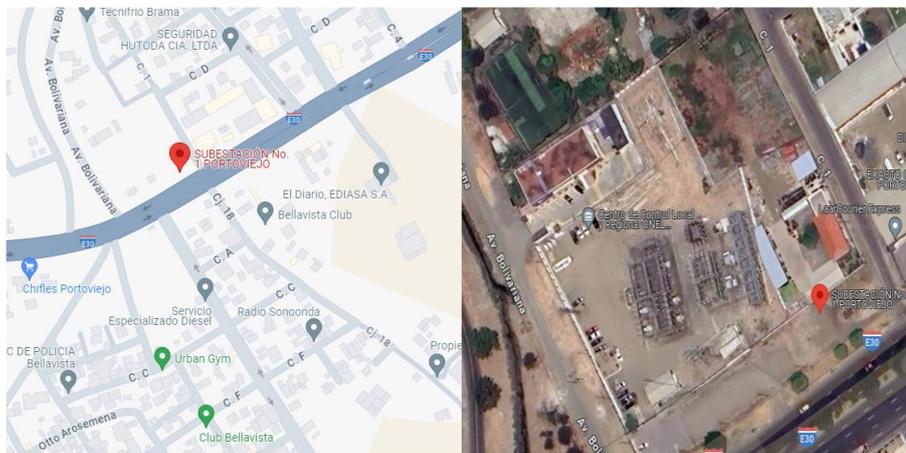
Para ello, el estudio adopta un enfoque experimental, utilizando materiales idénticos a los empleados en la subestación y sometiéndolos a condiciones térmicas controladas. Se emplearán un soplete y una cámara termográfica para simular escenarios reales de sobrecalentamiento y medir la dilatación térmica de los componentes. La deformación de los materiales será cuantificada con un calibrador pie de rey digital, lo que permitirá obtener mediciones precisas y evaluar la magnitud del fenómeno.

En última instancia, este estudio busca demostrar la relación entre el coeficiente de dilatación térmica y la aparición del efecto Hotspot, proporcionando evidencia para la selección de materiales más adecuados para evitar este fenómeno.

## Metodología

### *1. Localización del sitio experimental*

Parte del estudio se llevó a cabo en la Subestación Eléctrica Portoviejo 1 de CNEL EP, ubicada en la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador. La subestación se encuentra ubicada en la Vía Manta, antes de la entrada a la Ciudadela Bellavista, con coordenadas -1.0669229054527891, -80.47473556338778 (Figura 1).



**Figura 1.** Localización del Área Experimental  
*Nota.* Las imágenes utilizadas fueron obtenidas de Google Maps.

La Subestación Eléctrica Portoviejo 1 cuenta con instalaciones de media tensión, donde se analizó los puntos de investigación relacionados con el efecto Hotspot. Para ello, se utilizó una cámara termográfica para medir la temperatura de las placas y los pernos de acero inoxidable.

La otra parte del estudio se realizó mediante pruebas de laboratorio, simulaciones controladas experimentales, donde los materiales fueron expuestos a diferentes niveles de temperatura utilizando soplete y un calibrador pie de rey digital para evaluar la dilatación térmica de los materiales después de la exposición al calor para analizar su comportamiento térmico y mecánico bajo condiciones experimentales. Este proceso permitió cuantificar la dilatación térmica y determinar en qué punto se produce la formación de puntos calientes. Con base en estos resultados, se propuso soluciones para mitigar este fenómeno y prevenir fallos operativos, daños estructurales y riesgos eléctricos en instalaciones de media tensión.

Todo el estudio se efectuó con la aprobación de las autoridades competentes y cumpliendo estrictamente con las normas de seguridad establecidas por la empresa eléctrica. Asimismo, se implementó medidas de seguridad para mitigar riesgos mecánicos y eléctricos, asegurando el uso adecuado del equipo de protección personal (EPP).

## *2. Elementos de estudio*

### *2.1. Conectores placa-cable*

Los conectores placa-cable son conectores eléctricos que se emplean para unir conductores de una red. Estos elementos cuentan con diversas propiedades que hacen especial su uso como lo es su resistencia a la corrosión y durabilidad. Mediante la aplicación de estos elementos se puede permitir la transmisión de energía de forma fiable en una instalación entre la placa y cables externos de larga distancia para que así la alimentación fluya adecuadamente, es debido a este motivo que su diseño está adaptado a entornos energéticos exigentes para así garantizar un rendimiento eficiente en conectividad al funcionar como un puente entre 2 elementos.

Los materiales de los que están hechos los conectores placa-cable suelen ser de aluminio o cobre debido a sus propiedades conductoras y la elección entre estos 2 materiales va a depender de los valores de conductividad eléctrica y la resistencia a la corrosión que se manejen dentro de una instalación, en el caso de las instalaciones de media tensión el material que componen los conectores empleados es el aluminio y aunque su conductividad es menor a la del cobre, este posee la ventaja de ser más económico y más liviano, haciéndolo ideal para aplicaciones en instalaciones eléctricas de media tensión.

### **Pernos de acero inoxidable**

En el caso del manejo de la energía eléctrica de las instalaciones de media tensión el tipo de pernos de acero inoxidable utilizado corresponde a la serie 304 también llamado A2-70 o 18/8 perteneciente a la familia austeníticos casi no magnéticos cuyo contenido de cromo se

encuentra en 18% y níquel en 8%. Este tipo de acero inoxidable posee una amplia gama de aplicaciones industriales por su resistencia a la tracción y corrosión, estos elementos presentan una resistencia entre 500-750 MPa (Megapascales) y de elongación del 40 al 60%, lo que permite que tengan un buen endurecimiento por trabajo mecánico, pero no son susceptibles a endurecerse por medio de un tratamiento térmico, lo que significa que pueden llegar a deformarse ante altas temperaturas.

Los pernos de acero inoxidable se emplean en las instalaciones de media tensión como elementos de anclaje debido a su resistencia a la corrosión y estabilidad mecánica y como se mencionó, las variaciones de temperatura afectan tanto la integridad como el rendimiento de los materiales de contacto eléctrico que están anclados con pernos de acero inoxidable. El artículo detallará las diferencias en las tasas de expansión térmica entre los materiales de contacto y los pernos de acero inoxidable para consumir a que problemas conduce en la conectividad eléctrica, los riesgos de fallos por sobrecalentamiento y accidentes laborales, mediante esto se permitirá explorar posibles soluciones para mitigar estas molestias y mejorar la fiabilidad de las conexiones. La compatibilidad en los coeficientes de dilatación térmica entre materiales de contacto y pernos de sujeción es fundamental para prevenir la formación de puntos calientes.

### **Fenómeno estudiado**

En el ámbito eléctrico, este fenómeno ocurre por los cambios de temperatura tanto ambiental como por corriente eléctrica y como consecuencia tenemos la formación de puntos calientes locales y su acumulación en los circuitos, dispositivos y materiales conductores de las instalaciones tanto de media como de alta tensión debido a la generación de calor excedente en zonas concretas promoviendo la dilatación térmica de las mismas. En el caso del experimento se determinó que las instalaciones de media tensión de la Subestación Portoviejo 1 se ven afectadas concretamente en los conectores placa-cable y consecuentemente en los pernos de

acero inoxidable a los que están sujeto, es a partir de este punto que se establece una relación entre ambas variables y su respectiva exploración a fin de contrarrestar esta problemática mediante la investigación y pruebas de campo sobre este efecto.

En sí, la formación de puntos calientes representa un riesgo significativo para todo el sistema eléctrico. El presente trabajo tiene como prioridad investigar, mediante fuentes primarias y experimentos prácticos simulados, cómo el coeficiente de dilatación térmica de los materiales contribuye a la generación del efecto Hotspot. Por ello, se analizará las diversas condiciones operativas a las que se encuentran estos componentes junto a las propiedades de los mismos referentes al manejo eléctrico y se realizarán pruebas de campo para destacar el papel de la expansión y contracción térmica en la estabilidad de las conexiones eléctricas.

## Métodos

### Método experimental

El método experimental es una técnica de investigación aplicada en un entorno físico con el propósito de verificar hipótesis a través de pruebas controladas y la observación de sus resultados. En este estudio, los experimentos se realizaron de manera práctica, utilizando un soplete y un calibrador pie de rey digital, con el objetivo de simular una situación térmica real del efecto Hotspot.

Las pruebas experimentales se enfocaron en los conectores placa-cable y los pernos de acero inoxidable empleados en la subestación, evaluando su comportamiento estructural y su respuesta térmica ante el calor extremo. A partir de los datos obtenidos, se determinó la incidencia de los cambios de temperatura en la generación de puntos calientes, lo que permitió definir alternativas y estrategias para mitigar las afectaciones operativas causadas por el efecto Hotspot en instalaciones de media tensión.

### **Método cualitativo-cuantitativo**

El método cualitativo-cuantitativo combina dos enfoques de análisis de datos para proporcionar una visión integral del problema. En este estudio, se recopilaron datos cuantitativos y cualitativos sobre la dilatación térmica de los conectores placa-cable y los pernos de acero inoxidable expuestos al efecto Hotspot.

Las simulaciones térmicas y mecánicas de los materiales bajo condiciones controladas permitieron obtener valores cuantitativos, tales como la resistencia térmica y la magnitud de la deformación. Paralelamente, el análisis cualitativo se centró en evaluar los cambios físicos y estructurales de los materiales tras la exposición al calor.

Para registrar los datos de temperatura, se utilizó una cámara termográfica en entornos reales dentro de la subestación y en experimentos de laboratorio con el uso de soplete. La información obtenida fue clave para comprender la relación entre la dilatación térmica y la formación de puntos calientes, lo que permitió establecer soluciones adecuadas para mejorar la eficiencia de los sistemas eléctricos.

### **Método analítico-inductivo**

El método analítico-inductivo se basa en la combinación de dos enfoques de razonamiento para obtener conclusiones y resolver problemas. En este estudio, el análisis se centró en la relación entre el efecto Hotspot y la dilatación térmica de los materiales, considerando esta última como el principal indicador de la aparición del fenómeno en instalaciones de media tensión.

La selección de este método se fundamenta en la necesidad de evaluar el coeficiente de dilatación térmica de los conectores placa-cable de aluminio y los pernos de acero inoxidable A2-70, en relación con la formación del efecto Hotspot en la Subestación Portoviejo 1. Este análisis permitió determinar el impacto del fenómeno en la eficiencia energética del sistema y su seguridad operativa y laboral.

El proceso analítico partió de la hipótesis inicial y se complementó con observaciones directas en la subestación eléctrica, donde se documentaron evidencias del problema. Posteriormente, la fase inductiva permitió formular conclusiones basadas en los datos experimentales, relacionando las variables estudiadas y validando los hallazgos con investigaciones previas.

## Resultados

La energía eléctrica es un fenómeno que al recorrer un conductor genera calor. “El calor excesivo que puede ocasionar un incendio puede ser producido por los siguientes factores: Una corriente alta, Una resistencia alta y Falta de refrigeración” (Benitez Granados, 2023). El calor presente en las instalaciones eléctricas es un problema bastante común al manejar corrientes elevadas, puesto que los materiales electroconductores no siempre están diseñados para soportar cargas excesivas por tiempos prolongados o este mismo potencial eléctrico supera la capacidad neta del conductor metálico por motivos de resistencia, conductividad y dilatación térmica, lo que se traduce en problemáticas a nivel operativo y productivo puesto que los circuitos fallan y se interrumpe el recorrido de la electricidad o hay pérdidas de eficiencia energética significativas de la misma e incluso riesgos de incendio.

A continuación, se detallará los resultados obtenidos de los materiales estudiados, correspondiendo al aluminio en el caso de los conectores placa-cable y al acero inoxidable en los pernos. Para este experimento práctico se sometió ambos materiales a un calor progresivo para evaluar su comportamiento de dilatación frente a temperaturas extremas considerando el coeficiente de dilatación de ambos materiales y concluyendo en una temperatura máxima de 540 grados Celsius para así determinar el incremento de la longitud de estos sólidos ante estas condiciones que en consecuencia acarrearán desventajas potenciales para el sistema eléctrico del que forman parte.

El proceso practico se llevó a cabo empleando un soplete directamente sobre el material indicado para generar el calor especifico estipulado y la medición de la temperatura se realizó gracias a la participación de una cámara termográfica, asimismo la medición en cuanto a los cambios longitudinales de los materiales se realizó mediante el uso de un calibrador pie de rey con base a una medición en milímetros considerando los decimales.

Los valores obtenidos en el presente proyecto fueron calculados mediante 3 formulas.

Para calcular el cambio de longitud debido a un cambio de temperatura es:

$$\Delta L = \alpha \times Li \times \Delta T$$

Donde:

- $\Delta L$  = cambio de longitud
- $\alpha$  = coeficiente de dilatación térmica
- $Li$  = longitud inicial
- $\Delta T$  = cambio de temperatura

Para calcular el cambio de temperatura ( $\Delta T$ ), la fórmula es la siguiente:

$$\Delta T = Ti - Tf$$

Donde:

- $Ti$  = temperatura inicial
- $Tf$  = temperatura final

Y la fórmula para calcular la longitud final ( $Lf$ ) del material es:

$$Lf = Li + \Delta L$$

Donde:

- $Lf$  = longitud final
- $Li$  = longitud inicial
- $\Delta L$  = cambio de longitud

### ***1. Resultados obtenidos de los conectores placa-cable de aluminio***

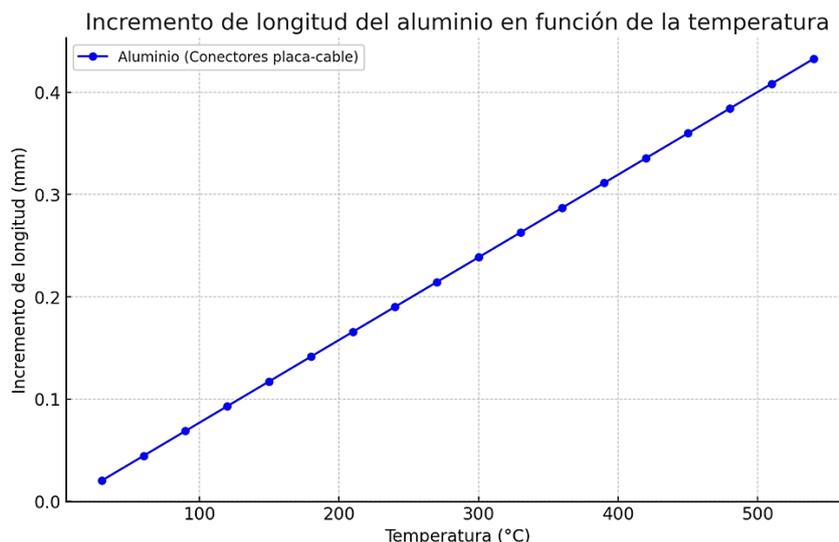
En cuanto a los valores obtenidos, en primera instancia, se evaluará el material de aluminio de los conectores placa-cable cuyo coeficiente de dilatación es de  $0,000024/^{\circ}\text{C}$ , se comenzó con una temperatura inicial de 5 grados Celsius y se terminó con una temperatura final de 540 grados Celsius a partir de un material cuya longitud era de 33,7 mm, en la siguiente tabla se demostrará como el incremento de la temperatura afecto la longitud final de los conectores placa-cable.

**Tabla 1**

Cambios longitudinales del material de aluminio de los conectores placa-cable respecto a la temperatura

Temperatura Final	Incremento De Temperatura	Incremento De Longitud	Longitud Final
30°C	25°C	0,02022mm	33,72022mm
60°C	55°C	0,044484mm	33,744484mm
90°C	85°C	0,068748mm	33,768748mm
120°C	115°C	0,093012mm	33,793012mm
150°C	145°C	0,117276mm	33,817276mm
180°C	175°C	0,14154mm	33,84154mm
210°C	205°C	0,165804mm	33,865804mm
240°C	235°C	0,190068mm	33,890068mm
270°C	265°C	0,214332mm	33,914332mm
300°C	295°C	0,238596mm	33,938596mm
330°C	325°C	0,26286mm	33,96286mm
360°C	355°C	0,287124mm	33,987124mm
390°C	385°C	0,311388mm	34,011388mm
420°C	415°C	0,335652mm	34,035652mm
450°C	445°C	0,359916mm	34,059916mm
480°C	475°C	0,38418mm	34,08418mm
510°C	505°C	0,408444mm	34,108444mm
540°C	535°C	0,432708mm	34,132708mm

Fuente: Elaboración propia



**Ilustración 1.** Incremento de longitud del aluminio en función de la temperatura

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos determinaron que frente al calor aplicado de forma progresiva, el material de aluminio (conectores placa-cable) aumento 0,024264 mm, este valor fue constante cada que se aumentaba la temperatura, esto demuestra que el material si se ve afectado por el efecto Hotspot hasta cierto punto, puesto que el material es propenso a dilatarse frente a

temperaturas altas lo que provoca negativamente deformidades en el sólido y dificulta su efectividad operativa en el sistema eléctrico trayendo consigo problemáticas a nivel productivo. Considerando la temperatura inicial de 5 grados Celsius y la temperatura final de 540 grados Celsius, el material de aluminio incremento su longitud 0,432708 mm, lo que significa que el aumento longitudinal del material fue de un 1.28%.

**2. Resultados obtenidos de los pernos de acero inoxidable A2-70**

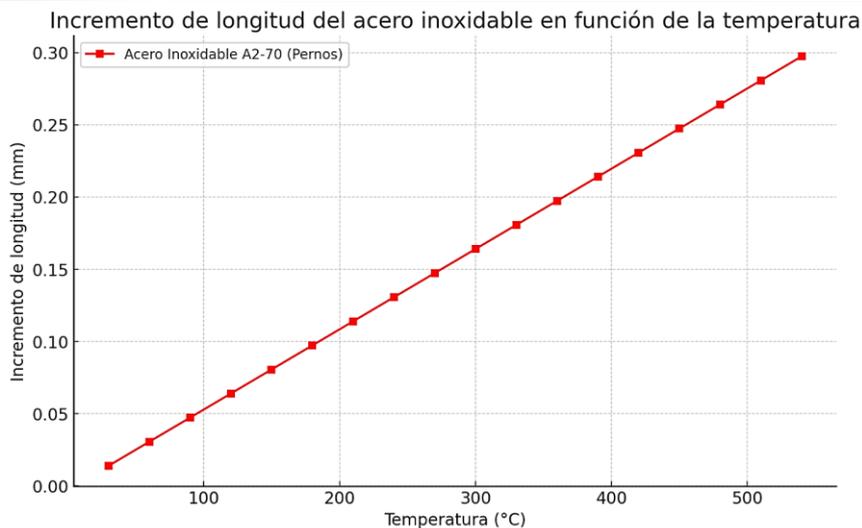
En segunda instancia, se evaluará el material de acero inoxidable A2-70 de los pernos de los conectores placa- cable cuyo coeficiente de dilatación es de 0,0000165/°C, se comenzó con una temperatura inicial de 5 grados Celsius y se terminó con una temperatura final de 540 grados Celsius a partir de un material cuya longitud era de 33,7 mm, en la siguiente tabla se demostrará como el incremento de la temperatura afecto la longitud final de los pernos de los conectores placa-cable.

**Tabla 2**

Cambios longitudinales del material de acero inoxidable A2-70 de los pernos respecto a la temperatura

Temperatura Final	Incremento De Temperatura	Incremento De Longitud	Longitud Final
30°C	25°C	0,01390125mm	33,7139013mm
60°C	55°C	0,03058275mm	33,7305828mm
90°C	85°C	0,04726425mm	33,7472643mm
120°C	115°C	0,06394575mm	33,7639458mm
150°C	145°C	0,08062725mm	33,7806273mm
180°C	175°C	0,09730875mm	33,7973088mm
210°C	205°C	0,11399025mm	33,8139903mm
240°C	235°C	0,13067175mm	33,8306718mm
270°C	265°C	0,14735325mm	33,8473533mm
300°C	295°C	0,16403475mm	33,8640348mm
330°C	325°C	0,18071625mm	33,8807163mm
360°C	355°C	0,19739775mm	33,8973978mm
390°C	385°C	0,21407925mm	33,9140793mm
420°C	415°C	0,23076075mm	33,9307608mm
450°C	445°C	0,24744225mm	33,9474423mm
480°C	475°C	0,26412375mm	33,9641238mm
510°C	505°C	0,28080525mm	33,9808053mm
540°C	535°C	0,29748675mm	33,9974868mm

Fuente: elaboración propia



### **Ilustración 2.** Incremento de longitud del acero inoxidable en función de la temperatura

*Fuente:* Elaboración propia

Los resultados obtenidos determinaron que frente al calor aplicado de forma progresiva el material de acero inoxidable A2-70 de los pernos es de 0,0166815 mm, este valor fue constante cada que se aumentaba la temperatura, esto demuestra que el material si se ve afectado por el efecto Hotspot hasta cierto punto, puesto que el material es propenso a dilatarse frente a temperaturas altas lo que provoca negativamente deformidades en el sólido y dificulta su efectividad operativa en el sistema eléctrico trayendo consigo problemáticas a nivel productivo. Considerando la temperatura inicial de 5 grados Celsius y la temperatura final de 540 grados Celsius, el material de acero inoxidable A2-70 incremento su longitud 0,2974868 mm, lo que significa que el aumento longitudinal del material fue de un 0,88%.

### **3. Comparación de los resultados obtenidos de los elementos estudiados**

Dado los resultados de ambas pruebas y su respectiva comparación, se puede determinar que el efecto Hotspot tiene una mayor repercusión en el material de aluminio del que están hechos los conectores placa-cable, donde se evidencia que a medida que el calor aumenta, la expansión del material se hace más notoria y aunque esta dilatación térmica del material estudiado permanece fueron del rango de unidades en milímetros, una dilatación de 0,024264 a medida que la temperatura del metal aumenta es un factor que se debe de considerar en la

selección de los materiales que son utilizados para el servicio energético, puesto que al dilatarse su propiedad principal de mantener en unión al sistema y su conducción eléctrica puede dar origen a varios incidentes operativos, administrativos, económicos y de seguridad.

#### *4. Impacto del efecto Hotspot*

La seguridad y fiabilidad de un sistema eléctrico es un factor intrínseco y primordial, pese a ello este principio no siempre se cumple por diversas causas. Los puntos calientes o efecto Hotspot son uno de los varios inconvenientes en el desempeño productivo de una instalación eléctrica, este conflicto surge a partir del manejo de la energía eléctrica en materiales conductores al sobrepasar la capacidad conductiva de los mismos incidiendo directamente en su resistencia térmica, la cual empieza con un sobrecalentamiento que compromete su funcionalidad y puede causar fallas temporales e incendios si no se detecta y trata a tiempo. Acorde a estudios “La probabilidad de que un incendio tenga origen eléctrico es bastante elevada estadísticamente se maneja un porcentaje del 70 al 75% que esto ocurra” (Benitez Granados, 2023). Además “Un incendio constituye un riesgo por dos razones, la toxicidad del aire y las altas temperaturas” (Bastidas & Medina Sánchez, 2013).

Los conectores eléctricos son el medio que permite el paso del voltaje de un punto a otro sin ramificaciones o pérdidas exponenciales, al estar involucrados por los puntos calientes la credibilidad de todo el sistema se afecta y ocasiona pérdidas energéticas por tiempos de inactividad no planificados e incluso riesgos de descargas a los trabajadores cercanos a los circuitos y materiales conductivos. El rendimiento eléctrico de toda instalación se valora tomando en cuenta los componentes y calidad de su estructura, cada parte fue diseñada para cumplir un propósito, pero aun así siempre existirá un margen de error o incluso sucesos imprevistos y externos que pueden ocasionar pérdidas. En las instalaciones de media tensión, sus conectores placa-cable son componentes críticos en la estabilidad y eficiencia de la conexión, puesto que deben mantener un contacto eléctrico óptimo para evitar pérdidas

energéticas, pero pueden ser susceptibles a la generación de puntos calientes debido al aumento de su resistencia por el calor excesivo provocado que da como resultado la degradación en el rendimiento del sistema.

Las consecuencias del efecto Hotspot no solo se concreta en la ineficacia sistemática que esta causa, sino también en el costo operativo y de mantenimiento que involucra la reparación del sistema afectado, dado que al producirse deformaciones en los materiales conductores estos deberán reemplazarse por nuevos y si no se tiene en consideración la verdadera causa de este problema se seguirán cambiando los componentes consecutivamente; asimismo los incendios que puede provocar el sobrecalentamiento pueden inclusive influir negativamente en el estado físico de los componentes cercanos o de la instalación completa, lo que involucra un gasto monetario que pudo evitarse si se soluciona el problema en primer lugar. “Se tienen datos que indican que los gastos ocasionados por reparaciones a este respecto podrían alcanzar alrededor del medio millón de dólares diarios” (Gaona-Tiburcio, Almeraya-Calderón, & Martínez-Villafañe, 2020). Y eso no es lo peor, “Lo más lamentable de todo es que muchos de estos paros forzados pueden ser catastróficos, originando también pérdidas humanas” (Gaona-Tiburcio, Almeraya-Calderón, & Martínez-Villafañe, 2020).

## Discusión

Considerando los resultados, el estudio sobre el efecto Hotspot en materiales electroconductores, conectores placa-cable de aluminio y pernos de acero inoxidable A2-70, en la Subestación Portoviejo 1, exhibe hallazgos relevantes sobre el impacto de este fenómeno en sistemas eléctricos de alto voltaje. A continuación, se realiza una valoración crítica de los resultados, tomando como referencia trabajos previos y discutiendo el alcance y limitaciones del estudio.

### *1. Resultados principales y su interpretación*

#### *1.1. Susceptibilidad de los materiales a la dilatación térmica*

Los resultados confirman que tanto el aluminio como el acero inoxidable A2-70 se ven afectados por la dilatación térmica ante el calor. Sin embargo, el aluminio presenta una mayor dilatación (1,28%) en comparación con el acero inoxidable (0,88%), lo que sugiere que el aluminio es más susceptible a los cambios de temperatura que el acero inoxidable A2-70.

### *1.2. Implicaciones para la Subestación Portoviejo 1*

La dilatación de los materiales, especialmente del aluminio, puede generar deformaciones en los pernos A2-70 ya que al dilatar más y al estar con una temperatura elevada, causará un estiramiento a los pernos, comprometiendo el funcionamiento de los componentes eléctricos, afectando la eficiencia operativa y la fiabilidad del sistema. Los pernos de acero inoxidable son propensos a deformaciones externas y al estar expuesto a las placas de aluminio cuya dilatación es mayor, esto causa que se deforme más a diferencia del aluminio. Este problema se ha manifestado en la Subestación Portoviejo 1, lo que resalta la necesidad de considerar la dilatación térmica en el diseño y selección de materiales para sistemas eléctricos.

## *2. Comparación con estudios previos*

Los resultados del estudio concuerdan con investigaciones previas que han destacado la importancia de la dilatación térmica en materiales conductores y su impacto en la fiabilidad de sistemas eléctricos. Varios autores han expresado la necesidad de utilizar materiales con coeficientes de dilatación térmica adecuados para evitar problemas de conexión y deformación en componentes eléctricos.

En particular, estudios previos han demostrado que el aluminio, a pesar de su alta conductividad eléctrica, presenta una mayor dilatación térmica en comparación con otros materiales como el cobre o el acero inoxidable. Esto ha llevado a la recomendación de utilizar aleaciones de aluminio con mejores propiedades térmicas o considerar el uso de otros materiales para este tipo de aplicaciones.

### 3. Alcance y limitaciones

Si bien los resultados son relevantes para este caso específico, pueden ser extrapolables a otros sistemas eléctricos que operan en condiciones similares de alto voltaje y temperatura.

Una limitación del estudio podría ser la falta de análisis de otros factores que también pueden influir en el efecto Hotspot, como la calidad de las conexiones eléctricas, la presencia de corrientes de fuga o la ventilación del sistema. Futuras investigaciones podrían abordar estos aspectos para obtener una comprensión más completa del fenómeno.

### 4. Implicaciones y direcciones futuras

Los resultados del estudio resaltan la necesidad de considerar la dilatación térmica como un factor crítico en el diseño y selección de materiales para sistemas eléctricos de alta potencia. Se recomienda utilizar materiales con coeficientes de dilatación térmica adecuados, y diseñar sistemas que puedan detener las deformaciones causadas por la dilatación.

En el caso específico de la Subestación Portoviejo 1, se sugiere evaluar la posibilidad de reemplazar los pernos de acero inoxidable por otros de coeficiente de dilatación térmica compatible con los conectores placa cable de aluminio, es decir pernos de aluminio o de algún otro material con un coeficiente de dilatación parecido al aluminio.

Es necesario implementar medidas de monitoreo y mantenimiento preventivo para detectar y corregir problemas relacionados con el efecto Hotspot, como inspecciones termográficas periódicas y ajustes en las conexiones eléctricas.

Por lo tanto, el estudio sobre el efecto Hotspot en materiales electroconductores en la Subestación Portoviejo 1 aporta información valiosa sobre la importancia de considerar la dilatación térmica en sistemas eléctricos. Los resultados demuestran la necesidad de utilizar materiales adecuados y diseñar sistemas que puedan mitigar los efectos negativos de este fenómeno. Futuras investigaciones podrían ampliar el alcance del estudio y abordar otras

variables que influyen en el efecto Hotspot para obtener una comprensión más completa y desarrollar soluciones más eficaces.

## Conclusión

En primer lugar, el estudio sobre el efecto Hotspot en los materiales electroconductores revela que tanto el aluminio, utilizado en los conectores placa-cable, como el acero inoxidable A2-70, utilizado en los pernos, son sensibles a este fenómeno físico. Los resultados obtenidos demuestran que ambos materiales se dilatan progresivamente cuando se exponen a altas temperaturas, lo que puede comprometer el funcionamiento de los componentes en un sistema eléctrico. Este fenómeno es particularmente crítico en sistemas que manejan altas corrientes, ya que el calor generado puede llevar a la deformación de los materiales, afectando su desempeño y fiabilidad, como ha sucedido en la Subestación Portoviejo 1.

En segundo lugar, aunque ambos materiales experimentan dilatación térmica, existe una diferencia significativa en la magnitud de esta dilatación. El aluminio, material de los conectores placa-cable, presenta una mayor expansión térmica en comparación con el acero inoxidable A2-70 de los pernos. Esta diferencia en la dilatación puede generar tensiones adicionales, causando deformaciones mecánicas en los pernos debido a la mayor expansión del aluminio, lo que afectaría negativamente la integridad de las conexiones.

En tercer lugar, los resultados del estudio subrayan la importancia de seleccionar materiales con coeficientes de dilatación térmica compatibles para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de los sistemas eléctricos. La incompatibilidad en la dilatación de materiales puede derivar en deformaciones, lo que conlleva problemas operativos, económicos y de seguridad, como se ha evidenciado en la Subestación Portoviejo 1. Por tanto, es esencial elegir materiales que presenten coeficientes de dilatación térmica similares para minimizar el riesgo de fallos en las conexiones y evitar pérdidas de eficiencia energética.

En último lugar, este estudio resalta la necesidad de considerar la dilatación térmica como un factor clave en el diseño de sistemas eléctricos. Para garantizar la seguridad y fiabilidad de las instalaciones eléctricas a lo largo de su vida útil, es imperativo seleccionar materiales adecuados y diseñar sistemas que mitiguen los efectos negativos del efecto Hotspot. Los resultados de este estudio refuerzan la importancia de una selección cuidadosa de los materiales en las instalaciones eléctricas, considerando sus propiedades de expansión térmica. La aplicación de las soluciones propuestas, como el uso de materiales con coeficientes de dilatación térmica compatibles es fundamental al tratar con este tipo de fenómenos por tal razón se sugiere considerar el uso de pernos de aluminio en contraste con los de acero inoxidable o emplear algún material con una dilatación térmica similar al del aluminio.

---

### Referencias bibliográficas

- Bastidas, D., & Medina Sánchez, E. (2013). *Armaduras de Acero Inoxidable*. Madrid: CEDINOX Centro para la Investigación y el Desarrollo del Acero Inoxidable.
- Benitez Granados, R. (17 de 08 de 2023). Modelado matemático por sobrecalentamiento de conductores eléctricos en instalaciones eléctricas residenciales. *Tesis*. Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Dionicio Padilla, E. (1999). Aplicaciones de los aceros inoxidable. *Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 11-22.
- Dominguez Vite, D. E., Sanchez Proaño, G. F., & Cudco Rojas, J. F. (2023). Detección de puntos calientes en módulo de instalaciones eléctricas para el laboratorio de control. *Revista Social Fronteriza*, 183.
- Gaona-Tiburcio, C., Almeraya-Calderón, F., & Martínez-Villafañe, A. (2020). Estudio de corrosión bajo tensión en los aceros inoxidable 17-4PH y 17-7PH en presencia de NaCl y NaOH (20%) a 90° C. *Revista de Metalurgia*, 80.
- García, M., Ruiz, A., Ismary OrtaIII, H. I., & Pérez, B. (2013). *Uso, consumo y costo de medicamentos antimicrobianos controlados en dos servicios del hospital universitario "General Calixto García"*. Obtenido de Rev haban cienc méd [online]. 2013, vol.12, n.1, pp.152-161.
- Herrera, M. M. (2004). *Farmacoeconomía: eficiencia y uso racional de los medicamentos*. Obtenido de Revista Brasileira de Ciencias Farmacéuticas 40(4).

- Jacome, A. (2008). *Historia de los medicamentos*. Obtenido de Vademecum Med-Informatica 2 Edición.
- Ospina Lopez, R., Aguirre Corrales, H., & Parra L, H. (2007). Soldabilidad en aceros inoxidables y aceros disimiles. *Scientia Et Technica*, 274.
- Padrón, C., Quesada, N., Pérez, A., González, P., & Martínez, L. (2014). *Important aspects of scientific writing*. Obtenido de Rev Ciencias Médicas vol.18 no.2 Pinar del Río mar.-abr. 2014.
- Rodríguez Atienza, F. J. (2020). Aplicaciones de la termografía infrarroja en las instalaciones eléctricas. *Universidad de Sevilla*, 15-16.
- Vásquez Ponce, M. (13 de 07 de 2015). Tesis. *Estudio de los efectos de la dilatación térmica en tuberías mediante simulación numérica*. Lima, San Miguel, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- WHOCC, . (2018). *Purpose of the ATC/DDD system Norwegian Institute of Public Health*. Obtenido de Who Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology.: [https://www.whocc.no/atc\\_ddd\\_methodology/purpose\\_of\\_the\\_atc\\_ddd\\_system/](https://www.whocc.no/atc_ddd_methodology/purpose_of_the_atc_ddd_system/)