

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2026,
Volumen 10, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2

**ANALISIS DEL DAÑO ESTRUCTURAL
MEDIANTE VARIABLES TERMO-FÍSICAS Y
PERFILES TÉRMICOS EN MUROS FISURADOS
ANALIZADOS EXPERIMENTALMENTE.**

**ANALYSIS OF STRUCTURAL DAMAGE USING THERMO-
PHYSICAL VARIABLES AND THERMAL PROFILES IN
EXPERIMENTALLY ANALYZED CRACKED WALLS.**

Luis Ángel Sánchez Martínez
Ingeniería Civil, UAEH

Cutberto Rodríguez Álvarez
Cuerpo Académico Ingeniería Civil Forense, UAEH

Jesús Emmanuel Cerón Carballo
Cuerpo Académico Ingeniería Civil Forense, UAEH

Eber Pérez Isidro
Cuerpo Académico Ingeniería Civil Forense, UAEH

Analisis del daño estructural mediante variables termo-físicas y perfiles térmicos en muros fisurados analizados experimentalmente.

Luis Ángel Sánchez Martínez ¹

sa353195@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0006-9170-2148>

Ingeniería Civil, UAEH
Estados Unidos Mexicanos

Cutberto Rodríguez Álvarez

profe_7479@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9225-8695>

Cuerpo Académico Ingeniería Civil Forense,
UAEH
Estados Unidos Mexicanos

Jesús Emmanuel Cerón Carballo

jesus_ceronc@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2809-3387>

Cuerpo Académico Ingeniería Civil Forense,
UAEH
Estados Unidos Mexicanos

Eber Pérez Isidro

eber_perez@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8500-710X>

Cuerpo Académico Ingeniería Civil Forense,
UAEH
Estados Unidos Mexicanos

RESUMEN

El documento presenta una investigación enfocada en la evaluación del daño estructural en un muro de mampostería. En este caso, se detectó una grieta severa de 6 mm de apertura. La metodología aplicada se basa en un proceso sistemático que integra diversas etapas: inspección inicial, delimitación del área de estudio, captura de imágenes térmicas y análisis de los patrones térmicos. Los métodos utilizados son el análisis del contraste térmico, la obtención de perfiles térmicos, el cálculo del gradiente de temperatura y la estimación del flujo de calor mediante la ley de Fourier. Asimismo, se empleó la temperatura relativa, pérdida térmica, índice de laminación y pérdida de rigidez. Los resultados evidenciaron diferencias térmicas significativas (≈ 4.1 °C) entre la zona fisurada y áreas sanas, así como variaciones en el perfil térmico que permitieron identificar el núcleo del daño. Se registraron gradientes térmicos elevados (hasta -100 °C/m) y flujos de calor intensos (≈ 120 W/m²). Estos valores, junto con un índice de laminación cercano a 0.6 y una pérdida de rigidez entre 40 % y 45 %, reflejan una discontinuidad estructural relevante. El análisis confirma que las anomalías térmicas están directamente relacionadas con la presencia de la fisura, evidenciando pérdida de continuidad material y posible carácter pasante del daño. En conclusión, el estudio valida la termografía como una herramienta no invasiva para la evaluación estructural, capaz de proporcionar información que mejora el diagnóstico y apoya decisiones de prevención del riesgo estructural.

Palabras clave: Mampostería; Riesgo; Termografía; Daño en muros; Anomalías térmicas

¹ Autor principal.

Correspondencia: profe_7479@uaeh.edu.mx

Analysis of structural damage using thermo-physical variables and thermal profiles in experimentally analyzed cracked walls.

ABSTRACT

This document presents an investigation focused on the assessment of structural damage in a masonry wall. In this case, a severe crack with a 6 mm opening was detected. The methodology applied is based on a systematic process that integrates several stages: initial inspection, delimitation of the study area, thermal image capture, and analysis of thermal patterns. The methods used include thermal contrast analysis, thermal profiling, temperature gradient calculation, and heat flow estimation using Fourier's law. Relative temperature, heat loss, lamination index, and stiffness loss were also employed. The results showed significant thermal differences ($\approx 4.1\text{ }^{\circ}\text{C}$) between the cracked area and sound areas, as well as variations in the thermal profile that allowed for the identification of the core of the damage. High thermal gradients (up to $-100\text{ }^{\circ}\text{C/m}$) and intense heat fluxes ($\approx 120\text{ W/m}^2$) were recorded. These values, along with a rolling index close to 0.6 and a stiffness loss between 40% and 45%, reflect a significant structural discontinuity. The analysis confirms that the thermal anomalies are directly related to the presence of the crack, demonstrating a loss of material continuity and the potential for through-crack damage. In conclusion, the study validates thermography as a non-invasive tool for structural assessment, capable of providing information that improves diagnosis and supports decisions regarding structural risk prevention.

Keywords: Masonry; Risk; Thermography; Wall damage; Thermal anomalies

*Artículo recibido 02 febrero 2026
Aceptado para publicación: 27 febrero 2026*



INTRODUCCIÓN

La evaluación del daño en muros de mampostería constituye un aspecto fundamental dentro del diagnóstico estructural de edificaciones, especialmente en construcciones existentes donde los procesos de deterioro pueden manifestarse de forma progresiva y no siempre evidente. Las fisuras, en particular, representan uno de los indicadores más comunes de alteraciones en el comportamiento mecánico de los materiales, pudiendo estar asociadas a fenómenos como asentamientos diferenciales, cambios térmicos, retracción o pérdida de adherencia entre elementos constructivos. Sin embargo, la inspección visual por sí sola resulta limitada para determinar la profundidad, continuidad y severidad real de este tipo de daños. Durante la inspección se identificó una fisura visible en ambas caras del muro con una abertura aproximada de 0.6 cm (6 mm), valor que corresponde a una grieta severa según los criterios de clasificación estructural. En este contexto, la termografía infrarroja se presenta como una herramienta de diagnóstico no destructivo que permite analizar la distribución superficial de temperatura en los elementos constructivos, identificando patrones térmicos anómalos asociados a discontinuidades internas. A través de la detección de variaciones térmicas, es posible inferir cambios en las propiedades físicas del material, tales como la conductividad térmica, la presencia de humedad o la existencia de vacíos, los cuales alteran el flujo de calor dentro del sistema. El análisis termo-físico, basado en principios como la ley de Fourier, permite relacionar el gradiente de temperatura con el flujo de calor, proporcionando un marco teórico para interpretar las anomalías térmicas observadas. De esta manera, la integración de información visual y térmica posibilita una evaluación más completa del estado del muro, facilitando la identificación de zonas críticas y contribuyendo a la toma de decisiones para su intervención y rehabilitación, (Cerón, 2026b).

MARCO CONCEPTUAL

El análisis del comportamiento estructural de muros de mampostería requiere la integración de conceptos provenientes de la mecánica de materiales y la transferencia de calor, especialmente cuando se emplean técnicas no destructivas como la termografía infrarroja. En este contexto, una fisura se define como una discontinuidad en el material, generalmente de pequeña abertura, que puede originarse por efectos mecánicos, térmicos o higrométricos. Cuando esta discontinuidad atraviesa el espesor del muro, se genera una alteración tanto en la continuidad estructural como en el comportamiento térmico del



elemento. La termografía infrarroja es una técnica que permite registrar la radiación térmica emitida por una superficie y transformarla en una imagen que representa la distribución de temperatura. Cada punto de la imagen corresponde a un valor térmico, lo que facilita la identificación de patrones térmicos. Un patrón térmico es la distribución espacial de temperaturas en una superficie, y su análisis permite detectar anomalías como fisuras, humedad o cambios de material. Estas anomalías se manifiestan como bandas térmicas con diferencias de temperatura respecto al entorno inmediato. El contraste térmico, definido como la diferencia entre temperaturas máximas y mínimas en una zona específica, es un parámetro clave para identificar discontinuidades. A partir de este contraste, es posible determinar el gradiente de temperatura, que representa la variación térmica por unidad de distancia. Este gradiente es fundamental para comprender la transferencia de calor en el material. La ley de Fourier establece que el flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura y a la conductividad térmica del material. La conductividad térmica es una propiedad física que indica la capacidad de un material para conducir calor, y su valor depende de factores como la composición, la porosidad y el contenido de humedad. En presencia de fisuras o vacíos, la conductividad efectiva del sistema puede alterarse, generando perturbaciones en el flujo de calor. En conjunto, estos conceptos permiten interpretar las imágenes termográficas no solo como representaciones visuales, sino como herramientas para inferir el estado físico y estructural del muro, facilitando la identificación de zonas críticas y la evaluación del daño, (Cerón, 2026b).

MARCO TEORICO

El estudio del comportamiento de muros de mampostería fisurados puede abordarse desde la interacción entre la mecánica estructural y la transferencia de calor. Desde el punto de vista estructural, una fisura representa una discontinuidad en el material que modifica la distribución de esfuerzos y reduce la capacidad portante del elemento. Estas discontinuidades pueden originarse por fenómenos como asentamientos diferenciales, variaciones térmicas, retracción del material o incompatibilidad entre elementos estructurales, afectando la integridad y rigidez del sistema. En el ámbito térmico, la presencia de una fisura altera las condiciones de conducción del calor en el muro. De acuerdo con la teoría de transferencia de calor, la conducción es el mecanismo mediante el cual la energía térmica se transfiere a través de un material debido a un gradiente de temperatura. Este fenómeno se describe mediante la ley



de Fourier, la cual establece que el flujo de calor es proporcional al gradiente térmico y a la conductividad del material. En condiciones ideales, un muro homogéneo presenta una distribución térmica uniforme. La termografía infrarroja permite captar estas perturbaciones al registrar la radiación térmica emitida por la superficie del muro. Las diferencias de temperatura detectadas se traducen en patrones térmicos que evidencian zonas de comportamiento anómalo. Estas anomalías pueden estar asociadas a la presencia de fisuras, humedad o vacíos internos, los cuales modifican la conductividad térmica efectiva del sistema. Cuando estas variaciones son significativas, indican una alteración en el flujo de calor, lo que puede relacionarse con una pérdida de continuidad material, (Cerón, 2024b).

MARCO REFERENCIAL

El uso de técnicas no destructivas en la evaluación de estructuras ha cobrado gran relevancia en las últimas décadas, particularmente en el análisis de muros de mampostería que presentan fisuras o deterioro progresivo. Entre estas técnicas, la termografía infrarroja se ha consolidado como una herramienta eficaz para la detección de anomalías térmicas asociadas a discontinuidades internas, humedad y defectos constructivos. Diversos estudios han demostrado que la variación de temperatura superficial en elementos estructurales puede estar directamente relacionada con cambios en las propiedades físicas del material y con la presencia de daños no visibles a simple vista. Investigaciones previas en el ámbito de la ingeniería civil han evidenciado que las fisuras en muros de mampostería no solo afectan la resistencia mecánica del elemento, sino que también modifican su comportamiento térmico. Esto se debe a que las discontinuidades generan rutas preferenciales para el flujo de calor y, en muchos casos, facilitan la infiltración de aire o humedad. En este sentido, la termografía permite identificar patrones térmicos anómalos que se manifiestan como bandas frías o calientes, coincidentes con la ubicación de las fisuras. En estos casos, la aplicación de termografía infrarroja ha permitido corroborar la continuidad de las fisuras a través del espesor del muro, así como identificar zonas con acumulación de humedad que agravan el deterioro del material. Asimismo, investigaciones recientes han incorporado el análisis de variables termo-físicas, como el gradiente de temperatura y el flujo de calor, para complementar la interpretación cualitativa de las imágenes termográficas. La aplicación de la ley de Fourier ha permitido estimar la intensidad del flujo térmico en zonas dañadas, proporcionando



un criterio adicional para evaluar la severidad del daño. Estos enfoques integrales han demostrado ser útiles para establecer índices de deterioro y priorizar intervenciones de rehabilitación, (Cerón, 2026a).

En el contexto nacional, diversos trabajos académicos han abordado la evaluación de muros de mampostería mediante termografía, destacando su utilidad en la detección temprana de fallas estructurales y en la prevención de daños mayores. En particular, estudios desarrollados en el estado de Hidalgo han analizado muros en edificaciones escolares, donde se han identificado fisuras pasantes y anomalías térmicas significativas, asociadas a pérdidas de continuidad estructural.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del presente estudio es evaluar el estado estructural de un muro de mampostería fisurado mediante la aplicación de técnicas de diagnóstico no destructivo, particularmente la termografía infrarroja, con el fin de identificar, analizar y cuantificar las anomalías térmicas asociadas a la presencia de discontinuidades en el material. A través de la integración de inspección visual y análisis termo-físico, se busca determinar la relación entre las variaciones de temperatura superficial y la posible pérdida de continuidad estructural del muro, considerando parámetros como el patrón térmico, el contraste de temperatura, el gradiente térmico y el flujo de calor. Asimismo, se pretende aplicar principios fundamentales de la transferencia de calor, como la ley de Fourier, para interpretar las perturbaciones térmicas detectadas y estimar su impacto en el comportamiento físico del elemento constructivo. Este enfoque permitirá no solo localizar las zonas críticas de daño, sino también inferir la profundidad y severidad de la fisura, así como su posible carácter pasante, (Cerón, 2025).

JUSTIFICACION

La evaluación del estado estructural de muros de mampostería es fundamental para garantizar la seguridad y funcionalidad de las edificaciones, especialmente en construcciones existentes donde el deterioro puede avanzar de manera progresiva sin ser detectado oportunamente. Las fisuras representan uno de los daños más comunes en este tipo de elementos, y su presencia puede indicar desde problemas superficiales hasta fallas estructurales significativas. Sin embargo, los métodos tradicionales de inspección, basados únicamente en la observación visual, resultan limitados para determinar la profundidad, continuidad y gravedad real de estas discontinuidades. La aplicación de un enfoque termo-físico, basado en principios como la ley de Fourier, permite complementar el análisis cualitativo con una



interpretación cuantitativa del fenómeno, facilitando la comprensión del comportamiento térmico del muro y su relación con el daño estructural. De esta manera, se logra una evaluación más integral que contribuye a la identificación de zonas críticas y a la estimación del nivel de deterioro. Por lo tanto, este estudio se justifica en la necesidad de contar con metodologías confiables, precisas y no invasivas que permitan mejorar los procesos de diagnóstico, optimizar las estrategias de mantenimiento y prevenir fallas mayores en estructuras de mampostería, (Cerón, 2024a).

HIPOTESIS

Se plantea como hipótesis que la presencia de una fisura en un muro de mampostería genera una alteración significativa en el comportamiento térmico del elemento, la cual puede ser detectada y cuantificada mediante el uso de termografía infrarroja. En particular, se establece que, si la fisura atraviesa total o parcialmente el espesor del muro, entonces se producirá una discontinuidad en la transferencia de calor, manifestándose como un patrón térmico anómalo en la superficie, caracterizado por diferencias de temperatura respecto a las zonas adyacentes. Asimismo, se propone que dichas anomalías térmicas estarán asociadas a variaciones en el gradiente de temperatura y, en consecuencia, a cambios en el flujo de calor a través del material, conforme a lo establecido por la ley de Fourier. Estas variaciones permitirán inferir no solo la ubicación de la fisura, sino también su posible severidad y carácter estructural. Se espera que las zonas fisuradas presenten contrastes térmicos más pronunciados, debido a la alteración de la conductividad térmica efectiva del sistema, ya sea por la presencia de aire, humedad o pérdida de continuidad del material. Por lo tanto, si se identifican patrones térmicos anómalos coincidentes con la trayectoria de la fisura observada visualmente, y estos presentan gradientes térmicos elevados y flujos de calor significativos, entonces será posible concluir que existe una afectación estructural del muro, (Yacila, 2019).

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio corresponde a un muro de mampostería ubicado en la planta baja de una edificación de uso educativo de dos niveles, situada en el municipio de Mineral de la Reforma, en el estado de Hidalgo, México. La construcción data aproximadamente de la década de los años ochenta, periodo en el que se empleaban sistemas constructivos tradicionales basados en mampostería de block de concreto confinada con elementos de concreto armado, tales como castillos y cadenas, lo que proporciona rigidez



estructural al conjunto. El muro analizado se localiza específicamente en un área interior destinada a servicios sanitarios, en un espacio sin presencia directa de regaderas, lo cual permite descartar condiciones de exposición constante al agua como causa principal del deterioro observado. Este muro funciona como elemento divisorio y posiblemente portante, dada su ubicación en el sistema estructural del edificio. Se encuentra revestido con recubrimiento cerámico adherido mediante mortero, el cual presenta signos visibles de deterioro, como desprendimientos, fisuras en las losetas y exposición del adhesivo.

Durante la inspección, se identificó una fisura con trayectoria vertical-inclinada que se origina en la parte inferior del muro, en la unión con el piso, y se extiende hacia la parte superior. La grieta presenta una mayor apertura en la base, lo que sugiere la posible influencia de asentamientos diferenciales o movimientos estructurales. Además, su proximidad a un elemento de confinamiento (castillo) indica una posible incompatibilidad de deformaciones entre materiales o una separación en la interfaz muro-estructura. Las condiciones ambientales al momento del estudio fueron controladas, con una temperatura aproximada de 25 °C, iluminación natural y ventilación moderada, lo cual favorece la obtención de datos termográficos confiables. La inspección se realizó en ambas caras del muro, permitiendo correlacionar la evidencia visual con los patrones térmicos detectados, (Napolitano, 2019).

METODOLOGÍA

La metodología empleada en el presente estudio se basa en la integración de inspección y análisis termográfico para la evaluación del daño en un muro de mampostería fisurado. En primer lugar, se realizó una inspección directa del elemento para identificar la ubicación, trayectoria y características de la fisura. Posteriormente, se capturaron imágenes termográficas utilizando una cámara infrarroja previamente configurada con parámetros adecuados de emisividad y condiciones ambientales controladas. A partir de estas imágenes, se identificaron patrones térmicos anómalos asociados a la zona de daño. Se analizaron variables como el contraste térmico, el perfil de temperatura y el gradiente térmico, lo que permitió aplicar la ley de Fourier para estimar el flujo de calor en el muro. Finalmente, se integraron los resultados visuales y térmicos para interpretar el comportamiento termo-físico del elemento y determinar la posible afectación estructural, proporcionando una base técnica para su diagnóstico y evaluación, (Deyazada, 2019).



INSPECCION

1. Inspección inicial. Se realizó una inspección visual detallada del muro de mampostería con el objetivo de identificar la presencia, ubicación y características geométricas de la fisura. Durante esta etapa, se registró la trayectoria de la grieta, su apertura aparente. Esta fase permitió establecer un diagnóstico preliminar y definir las áreas de interés para el análisis termográfico. **2. Delimitación del área de estudio.** Se procedió a delimitar el área específica del muro que sería objeto de análisis, considerando la zona donde se localiza la fisura y su entorno inmediato. Esta delimitación se realizó con base en criterios de relevancia estructural y visibilidad del daño, abarcando tanto la zona directamente afectada como áreas adyacentes que servirían como referencia térmica. Se estableció una banda de análisis vertical alineada con la trayectoria de la fisura, con el fin de obtener perfiles térmicos representativos. Asimismo, se definieron puntos de control en zonas sanas del muro para realizar comparaciones. **3. Configuración del equipo termográfico.** Antes de la captura de imágenes, se configuró la cámara termográfica considerando las propiedades del material y las condiciones del entorno. Se estableció un valor de emisividad de 0.95, correspondiente a superficies de mampostería, y se ajustaron parámetros como la distancia al objeto (1.1 m), la temperatura ambiente y la humedad relativa. También se seleccionó una paleta térmica adecuada (tipo hierro) para facilitar la visualización de contrastes de temperatura. **4. Captura de imágenes termográficas.** Se realizó la captura de imágenes térmicas del muro desde ambas caras, asegurando una cobertura completa de la zona de estudio. Las imágenes se tomaron en condiciones ambientales estables, evitando la incidencia directa de radiación solar o corrientes de aire que pudieran alterar la lectura térmica. Se registraron temperaturas mínimas, máxima y promedio en cada imagen, utilizando las herramientas del software del equipo. Además, se capturaron imágenes en formato visible (RGB) para facilitar la correlación visual. **5. Identificación del patrón térmico.** Una vez obtenidas las imágenes, se procedió al análisis cualitativo del patrón térmico. Se identificaron bandas térmicas anómalas, particularmente zonas con temperaturas significativamente más bajas o altas que el entorno. Estas anomalías fueron comparadas con la ubicación de la fisura observada visualmente. La coincidencia entre ambas evidencias permitió establecer una relación directa entre la grieta y la perturbación térmica. **6. Análisis del contraste térmico.** Se calculó el contraste térmico como la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima registradas en la imagen. Este



parámetro permite cuantificar la magnitud de la anomalía térmica. Se identificaron valores extremos asociados a la zona fisurada, lo que indica una alteración significativa en la distribución de temperatura.

7. Obtención del perfil térmico vertical. Se extrajo un perfil térmico a lo largo de la banda central del muro, alineado con la fisura. Este perfil representa la variación de temperatura en función de la altura, permitiendo identificar cambios bruscos asociados a la zona de daño. Se utilizaron herramientas digitales para obtener valores de temperatura en puntos equidistantes. El análisis del perfil térmico permite localizar el núcleo del daño y evaluar la extensión de la anomalía. **8. Cálculo del gradiente de temperatura.** A partir del perfil térmico, se calculó el gradiente de temperatura como la variación térmica por unidad de distancia. Este parámetro permite evaluar la intensidad de los cambios térmicos en el muro. Se identificaron zonas con gradientes elevados, coincidentes con la fisura, lo que indica una perturbación significativa en la transferencia de calor. El gradiente térmico es esencial para aplicar la ley de Fourier y estimar el flujo de calor. **9. Estimación del flujo de calor.** Utilizando la ley de Fourier, se estimó el flujo de calor en la zona analizada, considerando una conductividad térmica representativa del material. El flujo de calor permite cuantificar la transferencia de energía térmica a través del muro y evaluar la magnitud de la perturbación causada por la fisura. Valores elevados de flujo indican la presencia de un puente térmico activo. **10. Integración y análisis de resultados.** Finalmente, se integraron los resultados obtenidos en las etapas anteriores para elaborar un diagnóstico completo del estado del muro. Se correlacionaron las evidencias visuales y térmicas, así como los parámetros cuantitativos calculados. Esta integración permitió confirmar la hipótesis de una fisura pasante y evaluar su impacto en el comportamiento estructural y térmico del muro. Se elaboraron conclusiones y recomendaciones basadas en los hallazgos, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en la intervención del elemento, (Sielicki, 2019).

PATRÓN TÉRMICO

El análisis del patrón térmico constituye la etapa inicial del diagnóstico termográfico y tiene como objetivo identificar anomalías en la distribución de temperatura superficial del muro. Para ello, se realiza la captura de imágenes térmicas utilizando una cámara infrarroja configurada adecuadamente en términos de emisividad, distancia y condiciones ambientales.



$T = T(x, y); \quad \Delta T = T_{ref} - T_{anom} \quad ; \quad \Delta T = T_{max} - T_{min}$ $T_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i; \quad T = T(x) \text{ o } T = T(y)$ $\theta = \frac{T(x, y) - T_{min}}{T_{max} - T_{min}}; \quad \nabla T = \left(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y} \right); \quad \nabla T = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2}$	(1)
$\delta T = T(x, y) - T_{med}; \quad T = T(x, y); \quad \Delta T = T_{ref} - T_{fisura}$ $\theta = \frac{T(x, y) - T_{min}}{T_{max} - T_{min}}$	(2)

donde:

- T = temperatura superficial
- x, y = coordenadas espaciales sobre la superficie del muro
- T_{ref} = temperatura de referencia del muro sano
- T_{anom} = temperatura en la zona fisurada
- T_{max} = temperatura máxima registrada
- T_{min} = temperatura mínima registrada
- T_i = temperatura en cada punto medido
- n = número total de puntos
- θ = temperatura normalizada
- $T(x, y)$ = temperatura local
- T_{min}, T_{max} = temperaturas extremas del área
- Si δT es muy negativa o muy positiva, puede indicar una anomalía térmica.

Una vez obtenidas las imágenes, se procede a su interpretación cualitativa mediante el análisis de la escala de colores, identificando zonas que presentan diferencias térmicas respecto al entorno inmediato, esto se calcula con la Ecuación 1 y 2. Describe la temperatura en cada punto del muro: Permite medir la diferencia entre una zona anómala y una zona sana: Se delimitan áreas de interés, particularmente aquellas que coinciden con la ubicación de la fisura observada en la inspección visual. Estas zonas suelen



manifestarse como bandas térmicas frías o calientes, lo que indica una alteración en la transferencia de calor. Posteriormente, se realiza una comparación entre regiones afectadas y zonas aparentemente sanas, con el fin de establecer contrastes térmicos que permitan diferenciar comportamientos normales de anómalos. El patrón térmico se analiza considerando la continuidad, forma, orientación y extensión de las anomalías detectadas. Se verifica la correspondencia espacial entre la banda térmica y la fisura visible, lo que permite inferir la posible continuidad del daño a través del espesor del muro, (Valero, 2019).

LEY DE FOURIER

La aplicación de la ley de Fourier en el análisis del muro permite establecer una relación cuantitativa entre el gradiente de temperatura y el flujo de calor. Para ello, se parte de la obtención de datos térmicos provenientes de la imagen termográfica, específicamente las temperaturas registradas en distintos puntos a lo largo de una sección del muro.

$$q = -k\nabla T; \quad q = -k \frac{dT}{dx}; \quad q = -k \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (3)$$

Donde:

- q = flujo de calor (W/m²)
- k = conductividad térmica del material (W/m·K)
- ∇T = gradiente de temperatura (°C/m)
- El signo negativo indica que el calor fluye de zonas calientes a frías
- Si el **gradiente térmico aumenta** → el flujo de calor aumenta
- Si la **conductividad cambia (por humedad o fisura)** → el flujo también cambia
- Una fisura genera: discontinuidad, cambio en k y aumento o perturbación en q
- una banda térmica = alteración en ∇T
- eso implica cambio en q
- lo que confirma una **discontinuidad estructural**
- ΔT = diferencia de temperatura
- Δx = distancia entre puntos



En primer lugar, se selecciona una trayectoria de análisis, generalmente una línea vertical coincidente con la fisura. A lo largo de esta línea, se extraen valores de temperatura en intervalos regulares, generando un perfil térmico. A partir de este perfil, se calcula el gradiente de temperatura como la diferencia de temperatura entre dos puntos dividida entre la distancia que los separa. Una vez obtenido el gradiente con la Ecuación 3, se aplica la ley de Fourier en su forma unidimensional, considerando una conductividad térmica constante para el material del muro. Este valor se toma valores promedio para mampostería de concreto. El resultado permite estimar el flujo de calor en la zona analizada. Es importante considerar que este modelo es una aproximación simplificada, ya que asume condiciones de conducción pura y material homogéneo. Sin embargo, su aplicación permite interpretar las anomalías térmicas desde un enfoque físico, relacionando las variaciones de temperatura con cambios en la transferencia de energía. Finalmente, los resultados se analizan en función de su magnitud y distribución, identificando zonas donde el flujo de calor presenta valores atípicos, lo que sugiere la presencia de discontinuidades estructurales o alteraciones en las propiedades del material, (Wei, 2010).

FLUJO DE CALOR

El cálculo del flujo de calor utilizando la Ecuación 4, tiene como objetivo cuantificar la intensidad de la transferencia térmica a través del muro y evaluar el impacto de la fisura en este proceso. Para ello, se utiliza la información obtenida del análisis termográfico y del gradiente de temperatura previamente calculado. En primer lugar, se define la zona de estudio y se selecciona una sección representativa del muro, generalmente alineada con la fisura. A partir del perfil térmico, se identifican los valores de temperatura máxima y mínima, así como su distribución espacial. Con estos datos, se calcula el gradiente térmico. Posteriormente, se aplica la ley de Fourier, utilizando un valor de conductividad térmica representativo del material. El resultado es el flujo de calor, expresado en unidades de energía por unidad de área. Este valor permite evaluar la magnitud de la transferencia térmica en la zona afectada. Se realiza un análisis comparativo entre el flujo de calor en la zona fisurada y en áreas sanas del muro. Diferencias significativas indican la presencia de un puente térmico o una alteración en la continuidad del material. Este análisis permite identificar zonas críticas y evaluar la severidad del daño. Finalmente, los resultados se representan gráficamente, mostrando la variación del flujo a lo largo del muro. Esta representación facilita la interpretación de los datos y su correlación con la geometría de la fisura, (Cruz, 2019).



$q = \frac{Q}{A \cdot t}; \quad q = -k \frac{dT}{dx}; \quad q = -k \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$ $k \approx \frac{1.1 W}{m} \cdot K; \quad \Delta T \approx 20^\circ C; \quad \Delta x \approx 0.15m; \quad q \approx -\frac{146 W}{m^2}$ <p style="text-align: center;">Transferencia térmica intensa y pérdida de continuidad del muro</p>	<p style="font-size: 2em;">(4)</p>
---	--------------------------------------

Donde:

- q = flujo de calor (W/m²)
- Q = cantidad de calor transferido (J)
- A = área a través de la cual fluye el calor (m²)
- t = tiempo (s)
- ΔT = diferencia de temperatura
- Δx = espesor o distancia
- Si ΔT aumenta → el flujo de calor aumenta
- Si hay fisura: cambia la conductividad k , cambia el gradiente térmico y el flujo se vuelve irregular
- valores altos de q = zona de daño
- flujo anómalo = **punto térmico activo**

GRADIENTE DE TEMPERATURA

El gradiente de temperatura es una variable clave para comprender la distribución térmica en el muro y se obtiene a partir del análisis del perfil térmico. Para su cálculo, se selecciona una línea de análisis sobre la imagen termográfica, generalmente coincidente con la trayectoria de la fisura.

$\nabla T = \left(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z} \right); \text{Vertical del muro} = \frac{dT}{dx}; \quad \frac{dT}{dx} \approx \frac{\Delta T}{\Delta x}; \quad q = -k \cdot \frac{dT}{dx}$ <ul style="list-style-type: none"> • ∇T= vector gradiente de temperatura <p>$\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z}$ = cambios de temperatura en cada dirección</p>	<p style="font-size: 2em;">(5)</p>
--	--------------------------------------

donde:



- ΔT = diferencia de temperatura
- Δx = distancia entre puntos
- Gradiente bajo \rightarrow temperatura uniforme \rightarrow muro sano
- Gradiente alto \rightarrow cambio brusco \rightarrow **anomalía térmica**
- valores hasta ≈ -100 °C/m
- indican: discontinuidad, fisura activa, posible humedad o aire
- El gradiente identifica el **núcleo del daño**
- coincide con: la banda térmica y la fisura visible

A lo largo de esta línea, se registran valores de temperatura en puntos equidistantes, generando una serie de datos que representan la variación térmica en función de la posición. Estos datos se utilizan para construir un perfil térmico, el cual permite visualizar cambios bruscos de temperatura. El gradiente se calcula como la diferencia de temperatura entre dos puntos dividida entre la distancia que los separa. Este cálculo se realiza para distintos segmentos del perfil, permitiendo identificar zonas donde el cambio térmico es más pronunciado. Valores elevados de gradiente indican una transición térmica abrupta, lo que sugiere la presencia de una discontinuidad en el material. En el caso del muro analizado, estos valores coinciden con la ubicación de la fisura, lo que refuerza la hipótesis de daño estructural. Finalmente, el gradiente se representa gráficamente, permitiendo visualizar su variación a lo largo del muro. Esta información es fundamental para la aplicación de la ley de Fourier y la estimación del flujo de calor, (Dilrukshi, 2010).

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conductividad térmica es un parámetro fundamental para el análisis de la transferencia de calor y se considera como una propiedad intrínseca del material. En esta metodología, se adopta un valor representativo para la mampostería de concreto y se determina con la Ecuación 6.

$$k = -\frac{q}{\frac{dT}{dx}}; k = -\frac{q \cdot \Delta x}{\Delta T} \quad (6)$$

donde:

- k = conductividad térmica (W/m·K)



- q = flujo de calor (W/m^2)
- $\frac{dT}{dx}$ = gradiente de temperatura ($^{\circ}C/m$)
- ΔT = diferencia de temperatura
- Δx = distancia
- Alto k → buen conductor
- Bajo k → aislante (ej. aire)
- Mampostería: $k \approx 1.0 - 1.1 W/m \cdot K$
- Aire (fisura): $k \approx 0.026 W/m \cdot K$

Cuando aparece una fisura: cambia el medio (de sólido a aire), k y cambia el flujo de calor. Aparece banda térmica, aumenta el contraste térmico, se altera el comportamiento del muro; k se considera **que**; varía con humedad, varía con fisuras y varía con deterioro. La conductividad térmica es el parámetro que conecta: **material** → **gradiente** → **flujo de calor** y permite interpretar físicamente las anomalías detectadas por termografía. Dado que la medición directa de la conductividad no se realiza en campo, se asume un valor constante para todo el muro, lo que permite simplificar el análisis. Este valor se utiliza en la aplicación de la ley de Fourier para calcular el flujo de calor. Sin embargo, se reconoce que la conductividad puede variar en función de factores como la humedad, la porosidad y la presencia de fisuras. Por ello, el análisis se enfoca en identificar cambios relativos en el comportamiento térmico, más que en valores absolutos. La conductividad se integra en el modelo como un parámetro de referencia, permitiendo convertir el gradiente térmico en flujo de calor. Su uso facilita la interpretación física de las anomalías térmicas y contribuye a la evaluación del daño. Finalmente, se analiza la influencia de la conductividad en los resultados obtenidos, considerando posibles variaciones y su impacto en la precisión del modelo.

RESULTADOS

La Figura 1, presenta un análisis comparativo entre una **inspección** y una **evaluación termográfica** de un muro de mampostería con daño estructural. En la parte izquierda (imagen a), se observa un muro con acabado claro donde aparece una **grieta visible** que recorre diagonalmente la superficie. Esta fisura sugiere un posible problema estructural, asociado a esfuerzos mecánicos, asentamientos diferenciales o

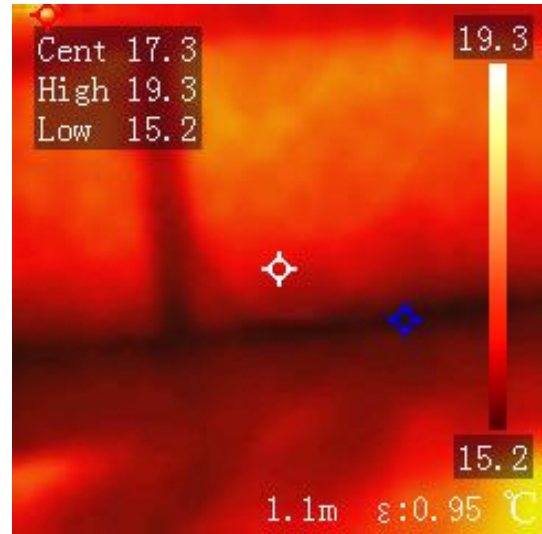
degradación del material. La grieta es continua y de espesor variable, lo que indica que el daño no es superficial sino progresivo, (Portioli, 2013).



Figura 1: Aparición de grieta en Muro “imagen a”); Termografía del Muro con daño “Imagen b)”.



a) Muro de mampostería



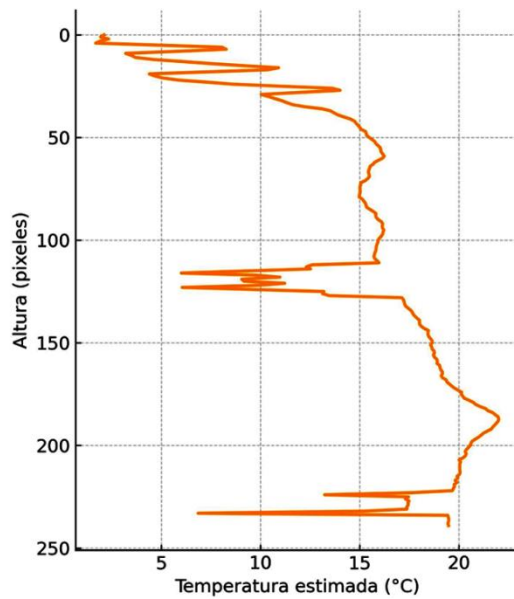
b) Termografía

En la parte derecha (imagen b), se muestra la **termografía del mismo muro**, donde los colores representan la distribución de temperatura. Predominan tonos rojos y naranjas, indicando temperaturas relativamente altas, mientras que una zona más oscura (más fría) coincide con la ubicación de la grieta observada en la imagen visible. Esta diferencia térmica sugiere una alteración en la conductividad del material, posiblemente causada por la presencia de humedad, vacíos internos o pérdida de continuidad estructural. Además, la escala térmica indica temperaturas entre aproximadamente 15.2 °C y 19.3 °C, con un punto central de 17.3 °C. En conjunto, ambas imágenes evidencian cómo la termografía permite detectar anomalías no visibles directamente, complementando el análisis estructural tradicional.

PERFIL TÉRMICO

La Figura 2, muestra un **perfil térmico vertical** correspondiente a la banda central de un muro o estructura, donde se representa la variación de la **temperatura estimada (°C)** en función de la **altura (en píxeles)**. La gráfica presenta una curva irregular en color naranja que evidencia cómo la temperatura cambia a lo largo de la superficie analizada, (Ardito, 2019).

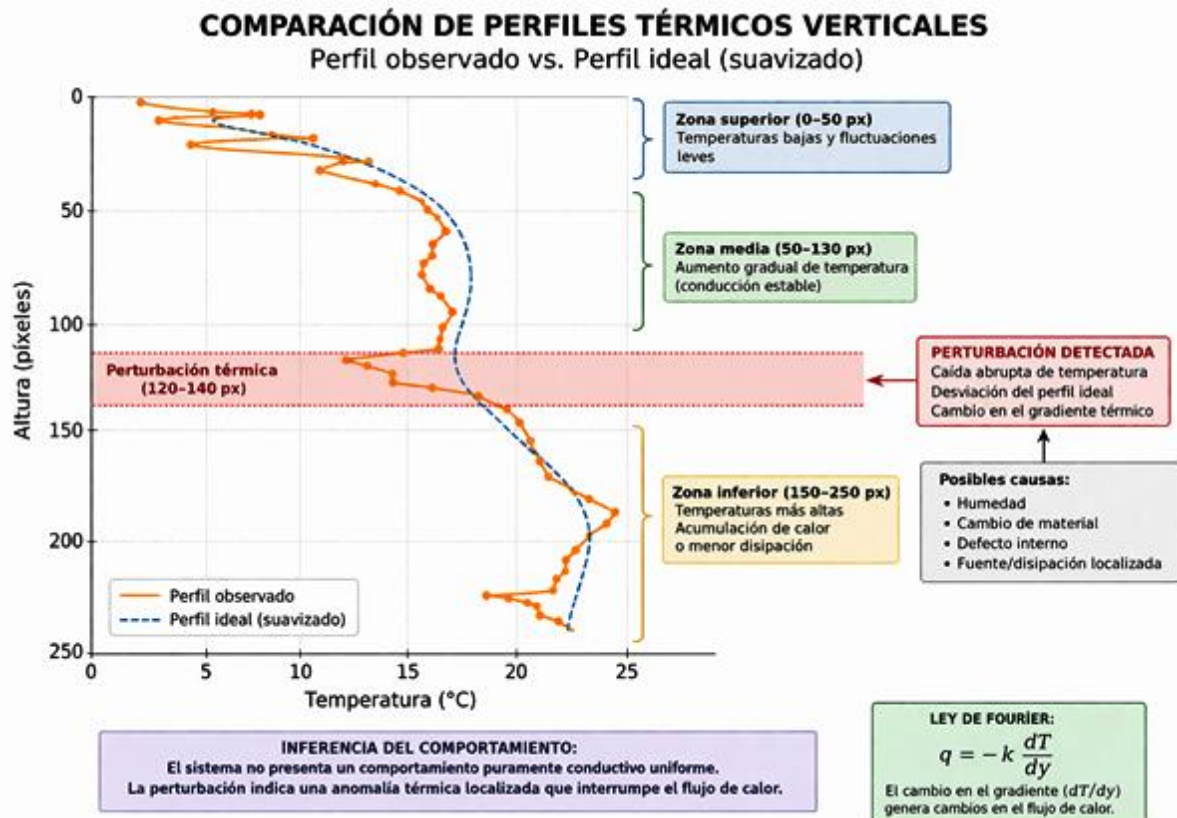
Figura 2: Perfil térmico vertical.



En la parte superior (cercana a 0 píxeles), se observan temperaturas más bajas, aproximadamente entre 4 °C y 8 °C, con pequeñas oscilaciones. A medida que se desciende en la altura, la temperatura aumenta gradualmente, alcanzando valores cercanos a 14–16 °C en la zona media (alrededor de 50 a 100 píxeles), lo que sugiere una transferencia de calor progresiva. Sin embargo, en el intervalo aproximado entre 110 y 140 píxeles, se aprecia una **variación abrupta o anomalía térmica**, donde la curva presenta cambios bruscos y cierta inestabilidad. Este comportamiento podría indicar la presencia de una discontinuidad en el material, como una grieta, humedad o un defecto interno. En la parte inferior (por debajo de 150 píxeles), la temperatura continúa incrementándose hasta valores cercanos a 20–22 °C, mostrando una tendencia más estable. En conjunto, la gráfica refleja un sistema térmico no uniforme, donde existen zonas con comportamientos diferenciados que pueden asociarse a condiciones físicas o estructurales del material analizado. La Figura 3, muestra una **comparación detallada de perfiles térmicos verticales** obtenidos a partir del análisis de un muro, integrando tanto datos experimentales como una interpretación teórica del comportamiento térmico. En el gráfico principal se representan dos curvas: el **perfil observado**, ilustrado con una línea continua en color naranja, y el **perfil ideal suavizado**, representado con una línea discontinua en color azul. El eje horizontal indica la **temperatura en grados Celsius (°C)**, mientras que el eje vertical corresponde a la **altura en píxeles**, lo que permite visualizar

cómo varía la temperatura a lo largo de la superficie del material. Se observa que se segmenta el perfil en tres zonas principales.

Figura 3: Comparación de Perfil térmico vertical.



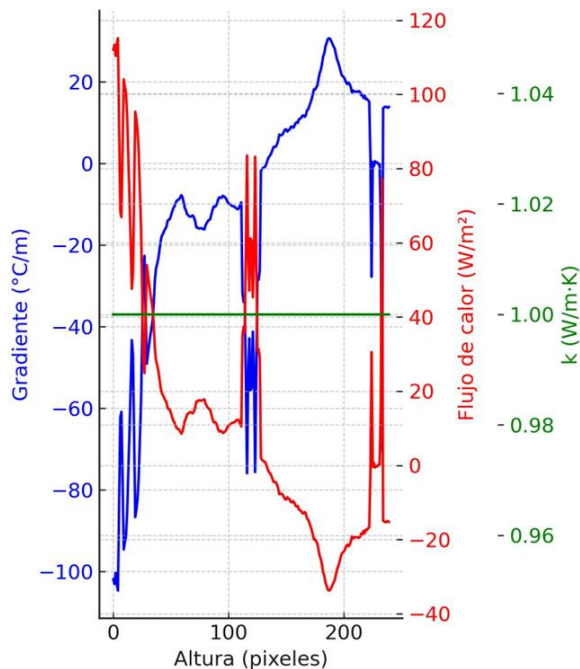
En la **zona superior (0–50 px)**, se registran temperaturas relativamente bajas con pequeñas fluctuaciones, lo que sugiere una mayor influencia de las condiciones ambientales externas y una menor acumulación de calor. En la **zona media (50–130 px)**, se observa un incremento gradual de la temperatura, reflejando un proceso de conducción térmica más estable y uniforme, donde el calor se transfiere de manera progresiva a través del material. El aspecto más relevante del análisis se encuentra en la región comprendida entre **120 y 140 píxeles**, donde se destaca una **perturbación térmica** claramente señalada en la imagen. En esta zona, el perfil observado se desvía de forma significativa respecto al perfil ideal, mostrando una caída abrupta de temperatura y un cambio en la pendiente de la curva, lo que indica una alteración en el gradiente térmico. Esta anomalía puede estar asociada a la presencia de humedad, discontinuidades estructurales, defectos internos o cambios en las propiedades térmicas del material. Finalmente, en la **zona inferior (150–250 px)**, las temperaturas alcanzan valores más altos y presentan un comportamiento más estable, lo que sugiere acumulación de calor o menor

disipación. La imagen también incorpora la **ley de Fourier**, resaltando que las variaciones en el gradiente térmico influyen directamente en el flujo de calor, reforzando la interpretación física del fenómeno observado, (Zijl, 2019).

GRADIENTE DE TEMPERATURA

La Figura 4, muestra una gráfica que representa el comportamiento térmico de un sistema en función de la altura, medida en píxeles. En el eje horizontal se indica la posición vertical del perfil analizado, mientras que en los ejes verticales se presentan tres variables físicas distintas: el gradiente de temperatura (en azul), el flujo de calor (en rojo) y la conductividad térmica (en verde).

Figura 4: Grafica de gradiente de temperatura y flujo de calor



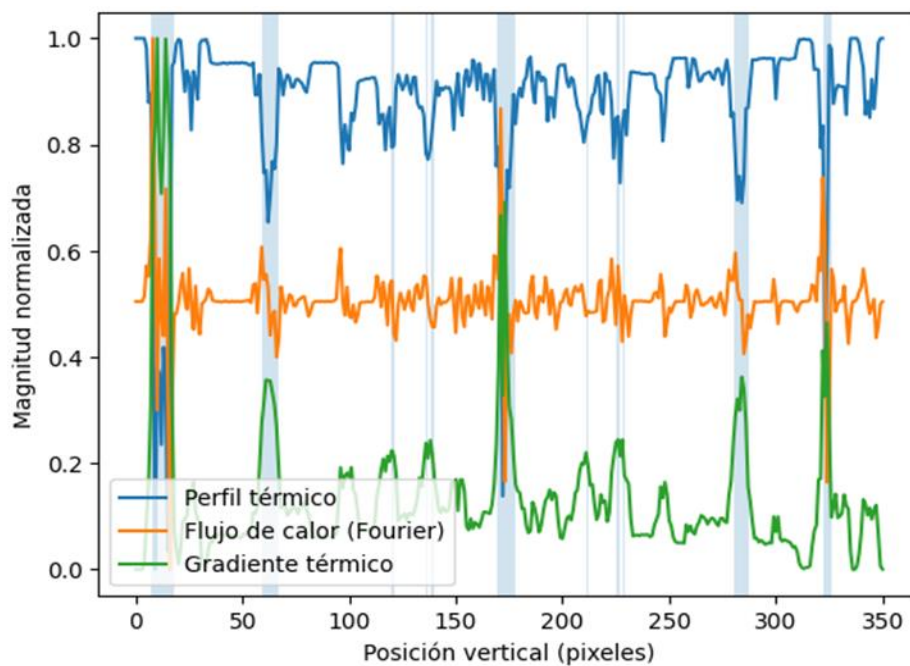
El gradiente de temperatura, representado por la curva azul, exhibe variaciones significativas a lo largo del perfil. En la parte inicial se observan valores negativos muy pronunciados, cercanos a -100 °C/m , lo que indica cambios bruscos de temperatura en esa región. Posteriormente, el gradiente se estabiliza parcialmente en valores menos negativos, y hacia la zona superior presenta un incremento progresivo hasta alcanzar valores positivos, lo que sugiere una inversión en la distribución térmica.

Por otro lado, el flujo de calor, mostrado en rojo, presenta un comportamiento altamente variable. Al inicio se registran valores elevados, cercanos a 120 W/m^2 , seguidos de una disminución progresiva con oscilaciones intermedias. En la parte final, el flujo incluso alcanza valores negativos, lo que indica un

cambio en la dirección del flujo de energía térmica. La línea verde, correspondiente a la conductividad térmica, permanece prácticamente constante alrededor de $1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, lo que sugiere que el material analizado es homogéneo en términos de sus propiedades térmicas. En conjunto, la gráfica evidencia un sistema con variaciones térmicas importantes, donde las diferencias en el gradiente influyen directamente en el flujo de calor, generando un comportamiento no uniforme a lo largo del perfil, (Ruiz, 2007).

La Figura 5, muestra una el flujo de calor y zonas de anomalías, en la cual se analiza el comportamiento térmico de un sistema a lo largo de una posición vertical expresada en píxeles. En el eje horizontal se representa la posición, mientras que en el eje vertical se indica la magnitud normalizada de las variables analizadas.

Figura 5: Grafica de perfil térmico y zonas anómalas.



Se presentan tres curvas principales: el perfil térmico en color azul, el flujo de calor en color naranja y el gradiente térmico en color verde. El perfil térmico (azul) se mantiene cercano a valores altos y relativamente estables, aunque presenta pequeñas caídas y fluctuaciones que indican variaciones locales de temperatura. Por su parte, el flujo de calor (naranja), calculado bajo la ley de Fourier, muestra un

comportamiento más uniforme, con ligeras oscilaciones alrededor de un valor medio, lo que sugiere una transferencia de calor relativamente constante en la mayor parte del sistema. El gradiente térmico (verde) presenta picos pronunciados en ciertas posiciones específicas, lo que indica cambios bruscos de temperatura en esas regiones. Estas zonas coinciden con las áreas sombreadas en la gráfica, las cuales representan **anomalías térmicas**. Dichas anomalías pueden estar asociadas a defectos estructurales, discontinuidades del material o variaciones en sus propiedades térmicas. En conjunto, la gráfica permite identificar claramente regiones estables y zonas críticas dentro del sistema, evidenciando que, aunque el comportamiento general sigue un patrón relativamente uniforme, existen perturbaciones localizadas que afectan significativamente la distribución térmica y el flujo de calor, (Flores, 2013).

ANÁLISIS

El presente documento presenta un estudio enfocado en la evaluación del daño estructural en un muro de mampostería mediante el uso de termografía infrarroja como técnica de diagnóstico no destructivo. Uno de los principales aportes del documento es la correlación establecida entre las anomalías térmicas detectadas y la presencia de discontinuidades estructurales, como fisuras pasantes.



Tabla 1: Resumen de resultados termográficos y estructurales

Parámetro	Rango / Valor Obtenido	Interpretación Física	Implicación Estructural
Temperatura Superficial	15.2 °C – 19.3 °C	Variación térmica en el muro	Existencia de comportamiento térmico no uniforme
Diferencia Térmica (Δt)	≈ 4.1 °C	Alto contraste térmico	Indica anomalía asociada a fisura
Temperatura en Perfil	16.1 °C – 17.8 °C	Variación localizada en sección analizada	Identificación de zona crítica
Núcleo del Daño	≈ 49.2 mm	Caída térmica significativa	Ubicación del punto más afectado
Gradiente Térmico	hasta ≈ -100 °C/m	Cambio brusco de temperatura	Evidencia de discontinuidad
Flujo de Calor	hasta ≈ 120 W/m ²	Transferencia térmica intensa	Presencia de puente térmico
Conductividad Térmica	≈ 1 W/m·K (constante)	Material homogéneo asumido	Cambios se atribuyen a daño, no al material
Temperatura Normalizada	0.05 – 1.0	Variación relativa térmica	Alta sensibilidad en zona fisurada
Pérdida Térmica	0.3 – 0.6	Disipación de calor	Alteración del flujo energético
Índice de Laminación	≈ 0.6	Separación interna del material	Posible delaminación o daño interno
Apertura Equivalente de Fisura	≈ 1.0 (máximo)	Máxima expresión del daño	Fisura severa y activa
Pérdida Relativa de Rigidez	0.40 – 0.45	Reducción mecánica	Disminución de capacidad estructural

El uso de parámetros como el gradiente de temperatura, el flujo de calor y la conductividad térmica, basados en la ley de Fourier, permite interpretar el comportamiento térmico del muro desde una perspectiva física, fortaleciendo el análisis más allá de lo visual. El uso de perfiles térmicos y variables normalizadas contribuye a identificar con precisión zonas críticas, como el núcleo del daño.

La Tabla 1, presenta La temperatura superficial que se obtuvo directamente de las imágenes termográficas capturadas con la cámara infrarroja. Se registraron los valores mínimo y máximo dentro del área analizada del muro. Estos datos fueron proporcionados por el software del equipo, considerando la emisividad configurada (0.95) y condiciones ambientales controladas. La diferencia térmica se calculó restando la temperatura mínima a la máxima registrada en la imagen termográfica. Este valor permitió cuantificar el contraste térmico presente en el muro. Se utilizó como indicador principal para detectar anomalías asociadas a la fisura, comparando zonas afectadas y zonas aparentemente sanas. La temperatura en perfil se obtuvo trazando una línea vertical sobre la imagen térmica, alineada con la

fisura. Se extrajeron valores de temperatura en puntos equidistantes a lo largo de una sección de aproximadamente 100 mm. Esto permitió analizar la variación térmica local y detectar irregularidades en la distribución de temperatura. El núcleo del daño se identificó a partir del perfil térmico como el punto donde ocurre una caída significativa de temperatura. Este valor se determinó analizando la posición donde el gradiente térmico presenta mayor cambio. Representa la zona de mayor afectación estructural dentro del muro. El gradiente térmico se calculó como la variación de temperatura entre dos puntos consecutivos del perfil térmico dividida entre la distancia que los separa. Este cálculo permitió cuantificar la intensidad del cambio térmico. Valores elevados indicaron transiciones abruptas asociadas a discontinuidades como la fisura, (Ximena, 2009).

El flujo de calor se estimó mediante la aplicación de la ley de Fourier, utilizando el gradiente térmico obtenido y un valor constante de conductividad térmica. Este parámetro permitió cuantificar la transferencia de energía a través del muro. Variaciones en el flujo indicaron perturbaciones causadas por la fisura. La conductividad térmica no se midió directamente, sino que se asumió un valor constante representativo de la mampostería de concreto. Este valor se empleó en los cálculos del flujo de calor. Su uso permitió simplificar el modelo y enfocar el análisis en las variaciones relativas del comportamiento térmico. La temperatura normalizada se obtuvo mediante un proceso de escalamiento de los valores térmicos entre los extremos mínimo y máximo registrados. Este procedimiento permitió expresar los datos en un rango adimensional (0 a 1), facilitando la comparación entre distintas zonas del muro y resaltando las anomalías térmicas. La pérdida térmica se determinó comparando la temperatura de la zona fisurada con una zona de referencia considerada sana. Se evaluó como una disminución relativa de temperatura, indicando disipación de calor. Este parámetro permitió identificar áreas donde la transferencia térmica se encuentra alterada por la fisura. El índice de laminación se estimó a partir de la relación entre las variaciones térmicas y la continuidad del material. Se interpretaron cambios bruscos en el patrón térmico como indicativos de separación interna. Este índice permitió inferir la presencia de delaminaciones o pérdida de adherencia en el muro. La apertura equivalente de fisura se infirió a partir de la intensidad del contraste térmico en el núcleo del daño. Se consideró que mayores diferencias térmicas corresponden a aperturas más significativas. Este parámetro permitió estimar indirectamente la severidad de la fisura en términos de su apertura. La pérdida relativa de rigidez se estimó de forma



indirecta, correlacionando las anomalías térmicas con cambios en el comportamiento mecánico del muro. Se consideró que mayores variaciones térmicas implican menor continuidad estructural. Este parámetro permitió evaluar la reducción en la capacidad resistente del elemento, (Barkovich, 2013).

La Tabla 2 presenta un análisis comparativo de distintos parámetros térmicos y estructurales obtenidos mediante termografía infrarroja. La tabla está organizada en cuatro columnas: parámetro, zona sana, zona dañada e interpretación, lo que permite una lectura clara y estructurada de la información.

Tabla 2: Comparación entre zona sana y zona dañada del muro

Parámetro	Zona Sana	Zona Dañada	Interpretación
Temperatura Superficial	Más uniforme ($\approx 16-18$ °C)	Variable ($15.2-19.3$ °C)	La zona dañada presenta alteración térmica
Diferencia Térmica (Δt)	Baja (< 1 °C)	Alta (≈ 4.1 °C)	Indica anomalía térmica significativa
Perfil Térmico	Curva suave y continua	Variaciones abruptas	Presencia de discontinuidad
Gradiente Térmico	Bajo y estable	Alto (hasta -100 °C/m)	Cambio brusco de temperatura
Flujo De Calor	Uniforme	Elevado y variable (hasta 120 W/m ²)	Existencia de puente térmico
Conductividad Térmica	Comportamiento homogéneo	Alterada por fisura (aire/humedad)	Cambio en transferencia de calor
Temperatura Normalizada	Cercana a valores medios	Valores extremos ($0.05-1.0$)	Mayor sensibilidad térmica
Pérdida Térmica	Mínima	Moderada ($0.3-0.6$)	Disipación anómala de calor
Índice De Laminación	Bajo	Alto (≈ 0.6)	Posible separación interna
Apertura De Fisura	No presente	Alta (≈ 1.0)	Daño severo
Rigidez Estructural	Conservada	Reducida ($0.40-0.45$)	Pérdida de capacidad estructural

En la columna de parámetros se incluyen variables clave como temperatura superficial, diferencia térmica, perfil térmico, gradiente térmico, flujo de calor, conductividad térmica, temperatura normalizada, pérdida térmica, índice de laminación, apertura de fisura y rigidez estructural. Para cada uno de estos, se contrastan los valores o comportamientos observados en una zona sin daño frente a una zona afectada por una fisura.



Los datos muestran que la zona sana presenta condiciones más estables y uniformes, mientras que la zona dañada evidencia variaciones significativas, como altos contrastes térmicos, gradientes elevados y flujo de calor irregular. La columna de interpretación sintetiza estos resultados, indicando la presencia de anomalías térmicas, discontinuidades estructurales y pérdida de capacidad mecánica. En conjunto, la tabla permite identificar claramente el impacto del daño en el comportamiento termo-físico del muro.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten confirmar la relación directa entre las anomalías térmicas detectadas y la presencia de daño estructural en el muro de mampostería. Los valores elevados de diferencia térmica ($\Delta T \approx 4.1 \text{ }^\circ\text{C}$), junto con gradientes térmicos pronunciados, evidencian una perturbación significativa en la transferencia de calor, lo cual es consistente con la existencia de una discontinuidad material, como una fisura pasante. Este comportamiento coincide con lo reportado en estudios previos, donde las variaciones térmicas se asocian a cambios en la conductividad debido a la presencia de aire o humedad en el interior de las grietas. Asimismo, el incremento en el flujo de calor en la zona dañada sugiere la formación de un puente térmico activo, lo que refuerza la hipótesis de alteración en la continuidad del muro. Los parámetros derivados, como el índice de laminación y la pérdida relativa de rigidez, permiten complementar el análisis térmico con una interpretación mecánica, indicando una reducción en la capacidad estructural del elemento.

CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente estudio confirman que la termografía infrarroja es una herramienta eficaz y confiable para la evaluación del daño estructural en muros de mampostería, especialmente cuando se integra con inspección visual y análisis termo-físico. Los resultados obtenidos evidencian que la presencia de una fisura genera alteraciones significativas en la distribución de temperatura superficial, manifestadas a través de contrastes térmicos elevados, gradientes pronunciados y variaciones en el flujo de calor. El análisis permitió identificar con precisión la ubicación del núcleo del daño, así como caracterizar su severidad mediante parámetros cuantitativos como la diferencia térmica, el índice de laminación y la pérdida relativa de rigidez. Estos indicadores reflejan una discontinuidad estructural importante, asociada a la pérdida de continuidad del material y a la disminución de la capacidad mecánica del muro. Asimismo, se comprobó que la correlación entre patrones térmicos y daño visible permite inferir la posible



continuidad de la fisura a través del espesor del elemento, lo que refuerza la hipótesis de una fisura pasante. Aunque el modelo utilizado considera ciertas simplificaciones, como la conductividad térmica constante, los resultados muestran coherencia y validez técnica. En conjunto, el estudio aporta una metodología integral que contribuye a la detección temprana de daños y a la toma de decisiones en procesos de mantenimiento y rehabilitación estructural, (Matus, 2019).

1. Una de las principales ventajas de la utilización de la termografía infrarroja como método de evaluación estructural es su carácter no destructivo, lo que permite analizar el estado interno de un elemento sin necesidad de intervenir físicamente en él. Esto resulta especialmente valioso en estructuras existentes, donde cualquier daño adicional debe evitarse. Mediante la detección de variaciones térmicas superficiales, es posible identificar anomalías asociadas a fisuras, humedad o vacíos internos que no son visibles a simple vista, (Cho, 2008).
2. Este método permite obtener resultados de manera rápida y en tiempo real, facilitando la toma de decisiones durante inspecciones. La capacidad de evaluar grandes superficies en poco tiempo lo convierte en una herramienta eficiente y económica en comparación con métodos tradicionales más invasivos.
3. Al integrarse con principios físicos como la ley de Fourier, la termografía no solo ofrece información cualitativa, sino también cuantitativa, lo que mejora la precisión del diagnóstico y contribuye a una evaluación más completa del comportamiento estructural, (Maximiliano, 2004).



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ardito, R. (2019). Flexural capacity of long-span transversely loaded hollow block masonry walls. *Construction and Building Materials*, 220, 489–502. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.042>
- Barkovich, M. (2013). Un modelo para la distribución de semáforos en una calle como problema integrador en los cursos introductorios de las carreras de Ingeniería. *lajpe revista*, 7, 5. https://doi.org/http://www.lajpe.org/march13/9_LAJPE_734_Mateo_Barkovich_preprint_corr_f
- Cerón, J. (2024a). Criterios de diagnóstico de daño en estructuras de acero. *Padi, UAEH*, 12, 8–16. [https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial3.13425](https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial3.13425)
- Cerón, J. (2024b). Nivel de evaluación del Mecanismo de falla en una construcción de 20 años de edad. *Padi, UAEH*, 11(22), 129–137. [https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.29057/icbi.v11i22.11067](https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.29057/icbi.v11i22.11067)
- Cerón, J. (2025). Análisis de Daños Sísmicos en Ciudades de México (2014 – 2024). *LATAM*, VI, 26. [https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4340](https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4340)
- Cerón, J. (2026a). Diagnóstico estructural de un muro de mampostería basado en criterios de vulnerabilidad, capacidad y desempeño mediante análisis evolutivo de fisuras. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 10, 29. [https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2.23177](https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2.23177)
- Cerón, J. (2026b). Evaluación del riesgo estructural en muros de mampostería fisurados mediante termografía infrarroja e índice de laminación. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 10, 29. [https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2.23179](https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2.23179)
- Cho, G. (2008). Funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño sísmico para edificaciones de mampostería utilizando técnicas de simulación. *Dyna*, 63–76. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/pdf/496/49611953008>
- Cruz, A. I. O. (2019). Experimental study of in-plane shear strength of confined concrete masonry walls with joint reinforcement. *Engineering Structures*, 182(June 2018), 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.12.040>
- Deyazada, M. (2019). Experimental investigations on the resistance of masonry walls with AAC thermal break layer. *Construction and Building Materials*, 224, 474–492.



<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.205>

- Dilrukshi, K. G. S. (2010). Numerical modelling of cracks in masonry walls due to thermal movements in an overlying slab. *Engineering Structures*, 32(5), 1411–1422. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.01.019>
- Flores, V. (2013). Propiedades mecánicas de la mampostería de tabique rojo recocido utilizada en Chilpancingo, Gro (México). *Informes de la Construcción*, 65, 387–395. <https://doi.org/10.3989/ic.12.084>
- Matus, R. A. (2019). Obtención de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe mediante ensayos de laboratorio. *Acta Universitaria*, 1–13. <https://doi.org/10.15174/au.2019.1861> Obtención
- Maximiliano, A. (2004). Capacidad de deformación de muros de albañilería confinada para distintos niveles de desempeño. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 75(70), 59–75. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/pdf/618/61807003>
- Napolitano, R. (2019). Methodology for diagnosing crack patterns in masonry structures using photogrammetry and distinct element modeling. *Engineering Structures*, 181(November 2018), 519–528. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.12.036>
- Portioli, F. (2013). Limit analysis of masonry walls by rigid block modelling with cracking units and cohesive joints using linear programming. *Engineering Structures*, 57, 232–247. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.09.029>
- Ruiz, J. (2007). Rehabilitación sísmica de edificaciones de mampostería para vivienda. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*, 443, 1–32. <https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n80/n80a3>
- Sielicki, P. (2019). Masonry wall behaviour under explosive loading. *Engineering Failure Analysis*, 104(June), 274–291. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.05.030>
- Valero, E. (2019). Automation in Construction Automated defect detection and classification in ashlar masonry walls using machine learning. *Automation in Construction*, 106(June), 102846. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102846>
- Wei, X. (2010). International Journal of Impact Engineering Model validation and parametric study on



the blast response of unreinforced brick masonry walls. *International Journal of Impact Engineering*, 37(11), 1150–1159. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2010.04.003>

Ximena, S. (2009). Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14, 51–69. <https://doi.org/https://www.redalyc.org/pdf/4139/413940754001>

Yacila, J. (2019). Experimental assessment of confined masonry walls retrofitted with SRG under lateral cyclic loads. *Engineering Structures*, 199(August), 109555. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109555>

Zijl, G. (2019). Improved ductility of SHCC retrofitted unreinforced load bearing masonry via a strip-debonded approach. *Journal of Building Engineering*, 24(February), 100722. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.02.014>

