

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

EVALUACIÓN DEL RIESGO ESTRUCTURAL EN MUROS DE MAMPOSTERÍA FISURADOS MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA E ÍNDICE DE LAMINACIÓN.

**STRUCTURAL RISK ASSESSMENT IN CRACKED MASONRY
WALLS USING INFRARED THERMOGRAPHY AND LAMINATION
INDEX.**

Alejandro Maximino Hernandez Melo

Licenciatura en Ingeniería Civil, UAEH

Jesús Emmanuel Cerón Carballo

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México

Eber Pérez Isidro

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México

Cutberto Rodríguez Álvarez

Cuerpo Académico Ingeniería Civil Forense, UAEH

Evaluación del riesgo estructural en muros de mampostería fisurados mediante termografía infrarroja e índice de laminación.

Alejandro Maximino Hernandez Melo¹

he380900@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0004-0689-6810>

Licenciatura en Ingeniería Civil, 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

Cutberto Rodríguez Álvarez

profe_7479@uaeh.edu.mx

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

Cuerpo Académico Ingeniería Civil Forense,
UAEH
Estados Unidos Mexicanos

RESUMEN

El estudio analiza el daño estructural en un muro de mampostería mediante inspección visual y análisis termográfico con cámara infrarroja. 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. El análisis termográfico se realizó con un valor de emisividad $\varepsilon = 0.95$, registrando temperaturas superficiales entre 15.2 °C y 19.3 °C, con una diferencia térmica aproximada de 4.1 °C entre la zona fisurada y el material circundante. El análisis del perfil térmico a lo largo de una sección de 100 mm mostró variaciones de temperatura entre 16.1 °C y 17.8 °C, observándose una caída térmica significativa alrededor de 49.2 mm, identificada como el núcleo del daño. Las variables termo-físico-mecánicas normalizadas evaluadas evidencian el comportamiento del daño estructural. La temperatura sobre fisura presentó valores entre 0.05 y 1.0; la pérdida térmica registró valores entre 0.3 y 0.6; el índice de laminación alcanzó valores cercanos a 0.6; la apertura equivalente de fisura mostró valores próximos a 1.0 en el núcleo del daño; y la pérdida relativa de rigidez presentó valores entre 0.40 y 0.45. Estos resultados indican una discontinuidad estructural significativa, pérdida de continuidad material y reducción de la rigidez del muro en la zona crítica analizada.

Palabras clave: Daño; Emisividad; Prevención; Riesgo; Vulnerabilidad.

¹ Autor principal

Correspondencia: jesus_ceronc@uaeh.edu.mx

Structural risk assessment in cracked masonry walls using infrared thermography and lamination index.

ABSTRACT

The study analyzes the structural damage in a masonry wall through visual inspection and thermographic analysis using an infrared camera. During the inspection, a visible crack was identified on both faces of the wall with an approximate opening of 0.6 cm (6 mm), a value corresponding to a severe crack according to structural classification criteria. The thermographic analysis was performed with an emissivity value of $\varepsilon = 0.95$, recording surface temperatures between 15.2 °C and 19.3 °C, with an approximate temperature difference of 4.1 °C between the cracked area and the surrounding material. The analysis of the thermal profile along a 100 mm section showed temperature variations between 16.1 °C and 17.8 °C, with a significant temperature drop observed around 49.2 mm, identified as the core of the damage. The evaluated normalized thermo-physical-mechanical variables demonstrate the behavior of the structural damage. The temperature over the crack presented values between 0.05 and 1.0 °C. The thermal loss registered values between 0.3 and 0.6; the lamination index reached values close to 0.6; the equivalent crack opening showed values close to 1.0 in the core of the damage; and the relative stiffness loss presented values between 0.40 and 0.45. These results indicate a significant structural discontinuity, loss of material continuity and reduction of the wall stiffness in the critical zone analyzed.

Keywords: Damage; Emissivity; Prevention; Risk; Vulnerability.

Artículo recibido 02 febrero 2026

Aceptado para publicación: 27 febrero 2026



INTRODUCCIÓN

Los muros de carga de mampostería se utilizan para dividir habitaciones y están en contacto con elementos de concreto. Los muros de mampostería constituyen uno de los elementos más utilizados en la construcción de edificaciones destinadas a vivienda, educación y servicios. Además de cumplir funciones arquitectónicas como la delimitación de espacios, estos elementos participan en el comportamiento estructural de la edificación al interactuar con vigas, columnas y losas de concreto. Sin embargo, debido a las propiedades mecánicas de los materiales que los conforman, los muros de mampostería presentan una elevada susceptibilidad a la aparición de fisuras y grietas provocadas por deformaciones diferenciales, variaciones térmicas, asentamientos del suelo o acciones dinámicas como las inducidas por eventos sísmicos, (Cerón, 2025b).

Las fisuras representan uno de los indicadores más frecuentes del deterioro estructural en edificaciones existentes. En muchos casos estas discontinuidades aparecen inicialmente en los recubrimientos o acabados, pero con el tiempo pueden propagarse hacia el interior del elemento estructural. La observación visual de las grietas permite identificar la geometría del daño, su orientación y su posible origen mecánico. En este contexto, la evidencia fotográfica del muro analizado muestra la presencia de una fisura visible tanto en el recubrimiento cerámico del interior como en el aplanado exterior del muro, lo que sugiere la existencia de una discontinuidad que atraviesa el espesor del elemento. Este tipo de daño puede estar asociado a la interacción entre el muro y los elementos de confinamiento, particularmente los castillos de concreto, generando concentraciones de esfuerzo que favorecen la propagación de la grieta. La evaluación del daño estructural requiere, además de la inspección visual, la aplicación de metodologías que permitan cuantificar el nivel de deterioro y clasificar el riesgo estructural. En este sentido, diversos criterios de diagnóstico establecen niveles de riesgo que van desde condiciones seguras hasta estados de alarma estructural. La clasificación utilizada en este estudio considera tres niveles progresivos de evaluación: alerta previa, alerta y alarma, los cuales se representan mediante códigos de color que facilitan la interpretación del estado de la estructura. Esta clasificación permite vincular la observación de fisuras con un diagnóstico estructural que oriente las acciones de mantenimiento, rehabilitación o refuerzo, (Sánchez, 2012).



En los últimos años, las técnicas de diagnóstico no destructivo han adquirido una gran relevancia en la evaluación de estructuras existentes. Entre ellas destaca la termografía infrarroja, una herramienta que permite analizar la distribución de temperatura superficial de los materiales mediante la detección de radiación térmica emitida por las superficies. La termografía se basa en la propiedad física conocida como emisividad, la cual describe la capacidad de un material para emitir energía en forma de radiación térmica. En materiales de construcción como la mampostería o el concreto, la emisividad suele encontrarse en valores cercanos a 0.90–0.95, lo que permite realizar mediciones confiables del comportamiento térmico de los muros. La aplicación de la termografía en la inspección de muros fisurados permite identificar anomalías térmicas asociadas a cambios de material, presencia de elementos de confinamiento o pérdida de continuidad estructural. En las imágenes termográficas analizadas se observa claramente la presencia del castillo de confinamiento como una anomalía vertical y la trayectoria de la fisura como una discontinuidad térmica horizontal. Estas variaciones en el campo térmico indican que la grieta modifica el flujo de calor a través del muro, generando contrastes térmicos detectables mediante la cámara infrarroja. Con el fin de interpretar de manera cuantitativa estas variaciones térmicas, es posible complementar el análisis termográfico mediante modelos de inferencia numérica basados en discretización espacial del muro. La aplicación de un mallado milimétrico equivalente a un análisis tipo elemento finito permite obtener perfiles térmicos a lo largo de la fisura y compararlos con secciones alejadas del daño. A partir de este procedimiento se pueden identificar zonas críticas donde se concentran las perturbaciones térmicas, lo que a su vez permite inferir variables termo-físico-mecánicas relacionadas con la pérdida de continuidad material y la disminución de rigidez estructural, (Cerón, 2022a).

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar el comportamiento térmico y estructural de un muro de mampostería fisurado mediante la integración de inspección visual, análisis termográfico y modelos de inferencia numérica. A través de este enfoque se busca establecer un criterio de evaluación que permita relacionar la presencia de fisuras con el nivel de riesgo estructural, contribuyendo al desarrollo de metodologías de diagnóstico basadas en técnicas no destructivas para la evaluación de edificaciones existentes, (CENAPRED_GB, 2017).



Descripción del sitio de estudio.

El edificio cuenta con un sistema estructural que permite el flujo adecuado de las fuerzas generadas por las diversas acciones de diseño. Además, estas fuerzas se transmiten continuamente a la cimentación. Se desconoce si la cimentación garantiza la correcta transmisión de estas fuerzas al subsuelo, ya que no se realizaron testigos de verificación (Cerón, 2020). La estructura presenta retículas de hormigón armado que forman marcos sustancialmente simétricos. Todos los marcos tienen el mismo número de bahías, (Cerón, 2025a).

La imagen muestra la aparición de grietas en un muro de mampostería, observadas tanto en la parte interior como en la exterior del elemento constructivo. En la imagen a) se aprecia la zona interior del muro, recubierta con piezas cerámicas colocadas como acabado superficial. En esta superficie se observa una grieta de trayectoria irregular y predominantemente vertical, la cual inicia cerca de la parte inferior del muro y se extiende hacia la zona media. La fisura atraviesa varias piezas cerámicas y sus juntas, lo que indica que el daño no se limita únicamente al recubrimiento, sino que posiblemente está asociado a una discontinuidad en el material del muro o a movimientos estructurales del elemento. Además, la abertura de la grieta parece incrementarse ligeramente en la parte inferior, lo que puede sugerir un proceso de deformación diferencial o una concentración de esfuerzos en esa región, (Cerón, 2020).

Figura 1: Aparición de grietas en la zona interior del muro (imagen a) y en la zona exterior (imagen b).



a)

b)

Por otro lado, la imagen b) corresponde a la superficie exterior del mismo muro, recubierta con aplanado. En esta cara también se identifica una fisura con trayectoria vertical y ligera curvatura, ubicada aproximadamente en la misma zona donde se observa la grieta en el interior. Aunque la abertura parece menor que en la cara interior, su presencia confirma la continuidad del daño a través del espesor del muro. La coincidencia espacial entre ambas fisuras sugiere que la grieta atraviesa el elemento constructivo, lo cual puede estar relacionado con deformaciones estructurales, interacción con elementos de confinamiento o variaciones térmicas en el material, (Cerón, 2025).

Objetivo general

El objetivo general de esta investigación es evaluar el riesgo estructural asociado a la presencia de fisuras en un muro de mampostería mediante la integración de inspección visual, medición de la deformación de la grieta y análisis termográfico basado en la emisividad de los materiales. El estudio busca identificar la continuidad de la fisura en las superficies interior y exterior del muro, así como analizar las variaciones térmicas detectadas mediante termografía infrarroja para determinar la existencia de discontinuidades en el material. A partir de este análisis se pretende establecer un criterio de diagnóstico estructural que permita clasificar el nivel de riesgo del muro considerando la apertura de la grieta, la diferencia térmica observada y la interacción con elementos estructurales de confinamiento. De esta manera, se busca contribuir al desarrollo de metodologías de evaluación estructural basadas en técnicas no destructivas que faciliten la identificación temprana de daños en muros de mampostería, (Cerón, 2024a).

Objetivos específicos

Los objetivos específicos consisten en identificar y caracterizar la fisura mediante inspección visual, analizar el comportamiento térmico del muro mediante termografía infrarroja y determinar el nivel de riesgo estructural a partir de la abertura de la grieta, (Cerón, 2024b).

Objetivo específico 1

Identificar y caracterizar la fisura presente en el muro de mampostería mediante una inspección visual detallada que permita reconocer su geometría, orientación, continuidad y ubicación tanto en la superficie interior como en la exterior del elemento constructivo. Este análisis tiene como finalidad determinar si la grieta corresponde únicamente a un daño superficial en los recubrimientos o si representa una



discontinuidad que atraviesa el espesor del muro. Para ello se documenta el daño mediante registros fotográficos y se analiza la trayectoria de la fisura, lo que permite establecer una primera aproximación del estado físico del muro y de su posible relación con deformaciones estructurales, (Cerón, 2022b).

Objetivo específico 2

Analizar el comportamiento térmico del muro mediante la aplicación de termografía infrarroja para identificar anomalías térmicas asociadas a la presencia de la fisura y a la interacción con los elementos de confinamiento del sistema estructural. A partir de las imágenes termográficas se evalúa la distribución de temperatura superficial del muro y se ajusta el valor de emisividad del material para obtener mediciones confiables. Este procedimiento permite detectar diferencias térmicas entre las zonas sanas del muro y las áreas afectadas por la fisura, facilitando la identificación de discontinuidades en el material y proporcionando información complementaria para el diagnóstico del daño estructural, (Cerón, 2024a).

Objetivo específico 3

Determinar el nivel de riesgo estructural del muro mediante la comparación de la abertura de la grieta con valores de referencia establecidos para la clasificación del daño. Este análisis permite evaluar si la fisura observada se encuentra dentro de un rango considerado seguro o si representa una condición de vulnerabilidad estructural. La integración de los resultados obtenidos mediante inspección visual, medición de la grieta y análisis termográfico permite establecer un diagnóstico del estado del muro y clasificar el nivel de riesgo en categorías de alerta previa, alerta o alarma, lo que contribuye a la toma de decisiones para el mantenimiento o rehabilitación del elemento estructural, (Cerón, 2024b).

Hipótesis

La presencia de fisuras en muros de mampostería altera la continuidad del material y modifica el flujo de calor a través del elemento constructivo, generando anomalías térmicas detectables mediante termografía infrarroja. Estas variaciones térmicas pueden utilizarse como indicadores del estado físico del muro y del nivel de daño estructural asociado a la grieta. En consecuencia, se plantea que la integración de inspección visual, medición de la abertura de la fisura y análisis de emisividad mediante termografía permite identificar la continuidad del daño en el muro y clasificar el nivel de riesgo estructural del elemento analizado mediante técnicas de diagnóstico no destructivas, (Cerón, 2025b).



Marco Teórico

Los muros de mampostería son elementos constructivos ampliamente utilizados en edificaciones debido a su capacidad para delimitar espacios y contribuir al comportamiento estructural del sistema constructivo. Sin embargo, estos elementos pueden presentar fisuras o grietas como resultado de deformaciones diferenciales, variaciones térmicas, asentamientos del suelo, retracción de los materiales o interacción con elementos estructurales de concreto como vigas y columnas. La presencia de fisuras puede indicar desde daños superficiales hasta alteraciones en la continuidad estructural del muro, por lo que su identificación y análisis resultan fundamentales para evaluar el estado de servicio de una edificación. En este contexto, las técnicas de diagnóstico no destructivo han adquirido gran relevancia en la evaluación estructural. Entre ellas destaca la termografía infrarroja, la cual permite analizar la distribución de temperatura superficial de los materiales mediante la detección de radiación térmica. Este método se basa en la emisividad, propiedad física que describe la capacidad de un material para emitir energía térmica. Las discontinuidades estructurales, como fisuras o cambios de material, alteran el flujo de calor en el muro y generan anomalías térmicas que pueden ser detectadas mediante imágenes termográficas, (Cerón, 2024c).

Marco conceptual

El análisis del daño estructural en muros de mampostería requiere comprender la relación entre las discontinuidades físicas del material y su comportamiento térmico y mecánico. Las fisuras constituyen uno de los principales indicadores de deterioro en edificaciones, ya que reflejan la presencia de esfuerzos, deformaciones o cambios en las condiciones de soporte del sistema constructivo. En este contexto, la aplicación de técnicas de diagnóstico no destructivo, como la termografía infrarroja, permite detectar anomalías térmicas asociadas a discontinuidades internas del material. La emisividad de los materiales de construcción juega un papel fundamental en la interpretación de estas imágenes, ya que determina la capacidad de las superficies para emitir radiación térmica. A partir de estos conceptos, es posible evaluar el estado estructural del muro y clasificar el nivel de riesgo asociado a la presencia de fisuras. La mampostería es un sistema constructivo formado por unidades como bloques, ladrillos o piedras unidas mediante mortero, utilizado ampliamente en la construcción de muros y elementos estructurales. Este tipo de material se caracteriza por su buena resistencia a compresión, aunque presenta



una capacidad limitada para resistir esfuerzos de tracción. Debido a esta característica, los muros de mampostería son susceptibles a la aparición de fisuras cuando se presentan deformaciones diferenciales, variaciones térmicas o movimientos en la estructura, (Chagoyén, 2009).

Una fisura es una discontinuidad o abertura de pequeña dimensión que aparece en la superficie de un material como resultado de tensiones internas, deformaciones estructurales o procesos de deterioro. En los muros de mampostería, las fisuras pueden presentarse de forma vertical, horizontal o diagonal, dependiendo del origen del esfuerzo que las genera. Aunque algunas fisuras pueden ser superficiales y no representar un riesgo estructural inmediato, otras pueden indicar la existencia de problemas en la estructura. La emisividad es una propiedad física que describe la capacidad de una superficie para emitir energía en forma de radiación térmica. Esta propiedad se expresa mediante un valor adimensional que varía entre 0 y 1, donde valores cercanos a 1 representan materiales que emiten radiación térmica de manera eficiente. En los materiales de construcción como el concreto y la mampostería, la emisividad suele encontrarse en rangos altos, lo que permite utilizar técnicas de termografía infrarroja, (Narro, 2000).

La termografía infrarroja es una técnica de diagnóstico no destructivo que permite analizar la distribución de temperatura superficial de un objeto mediante la detección de radiación térmica emitida por las superficies. Este método utiliza cámaras especiales que registran las diferencias de temperatura y las representan mediante imágenes termográficas. En la ingeniería civil, la termografía se emplea para identificar anomalías térmicas en estructuras, las cuales pueden estar asociadas a discontinuidades en el material. El riesgo estructural se refiere a la probabilidad de que un elemento constructivo o una estructura experimente daños que afecten su estabilidad, seguridad o capacidad de carga. Este riesgo se evalúa considerando factores como la presencia de fisuras, deformaciones, deterioro de materiales o efectos de cargas externas. La clasificación del riesgo estructural permite identificar el estado de la estructura y establecer niveles de alerta que orienten las acciones de mantenimiento, rehabilitación o refuerzo necesarias para garantizar la seguridad de la edificación, (Narro, 2000).

Marco referencial

La termografía infrarroja se ha consolidado como una técnica eficaz para detectar fisuras y anomalías térmicas en estructuras civiles. Estudios recientes destacan su utilidad para el diagnóstico no destructivo



y monitoreo estructural. Qu et al. (2020) analizan la termografía infrarroja como técnica de ensayo no destructivo para detectar defectos en materiales de construcción. El estudio explica que el análisis térmico permite identificar grietas, vacíos y delaminaciones mediante variaciones en la radiación térmica emitida por las superficies, facilitando el monitoreo estructural en edificaciones e infraestructura civil. Seo et al. (2021) desarrollan un estudio experimental para detectar grietas iniciales en estructuras utilizando cámaras infrarrojas y sensores de deformación. Los resultados muestran que la termografía permite identificar patrones de propagación de fisuras en etapas tempranas, contribuyendo al monitoreo estructural y a la prevención de fallas en sistemas constructivos. Huang et al. (2022) analizan el uso de técnicas de monitoreo estructural mediante imágenes térmicas para detectar microfisuras y defectos internos en estructuras de ingeniería. El estudio señala que la termografía infrarroja permite identificar daños ocultos gracias a la detección de cambios en la distribución térmica del material. Lu et al. (2023) proponen un sistema de detección automática de grietas en muros de mampostería mediante la combinación de imágenes visibles e infrarrojas. El método mejora la precisión en la identificación de fisuras mediante algoritmos de procesamiento de imágenes y análisis térmico. Pan et al. (2024) integran técnicas de aprendizaje profundo con termografía infrarroja para identificar defectos internos en estructuras de concreto reforzado. El estudio demuestra que el uso de redes neuronales permite mejorar la precisión en la detección de discontinuidades estructurales y facilita el monitoreo de la integridad estructural. Honarjoo et al. (2024) proponen un modelo basado en redes neuronales con mecanismos de atención para detectar grietas estructurales en infraestructuras civiles. El sistema permite mejorar la precisión en la localización de discontinuidades estructurales mediante el análisis de imágenes y datos estructurales. Shrestha et al. (2025) presentan una revisión sobre aplicaciones de termografía infrarroja en infraestructura civil. El estudio destaca que esta técnica permite evaluar daños ocultos en estructuras como muros, puentes y edificios, proporcionando información rápida y precisa para la toma de decisiones en mantenimiento estructural. Valluzzi et al. (2025) investigan la optimización del uso de termografía infrarroja para detectar anomalías internas en muros de mampostería con diferentes tipos de revestimientos. Los resultados muestran que la técnica permite identificar discontinuidades térmicas asociadas a grietas y defectos estructurales, (Chirinos, 2021).



La relevancia del presente estudio radica en la necesidad de mejorar las metodologías de diagnóstico estructural aplicadas a muros de mampostería en edificaciones existentes. Aunque la inspección visual ha sido tradicionalmente el método más utilizado para identificar fisuras en estructuras, este procedimiento presenta limitaciones importantes, ya que muchas discontinuidades estructurales no son completamente visibles en la superficie o no permiten evaluar con precisión el nivel de daño estructural. En este contexto, las técnicas de diagnóstico no destructivo, como la termografía infrarroja, han adquirido gran importancia en la evaluación de estructuras civiles debido a su capacidad para detectar anomalías térmicas asociadas a cambios en las propiedades físicas de los materiales. Sin embargo, a pesar de los avances en la aplicación de la termografía en ingeniería civil, aún existe un vacío de conocimiento en la relación cuantitativa entre las anomalías térmicas detectadas mediante emisividad y el comportamiento estructural de fisuras en muros de mampostería. La mayoría de los estudios se han enfocado en la detección de defectos o discontinuidades mediante imágenes térmicas, pero existe menor desarrollo en metodologías que integren estos datos térmicos con variables mecánicas que permitan evaluar el nivel de daño estructural y su posible impacto en la estabilidad del elemento constructivo, (Karpf, 2023).

Asimismo, muchos trabajos se centran en la detección de fisuras en materiales como concreto o acero, mientras que los muros de mampostería presentan un comportamiento estructural distinto debido a la interacción entre unidades de mampostería, mortero y elementos de confinamiento. Esta condición genera patrones de transferencia de calor más complejos que requieren metodologías de análisis específicas para interpretar correctamente las anomalías térmicas observadas en las imágenes infrarrojas. En este contexto, el presente estudio busca contribuir a la reducción de este vacío de conocimiento mediante la integración de inspección visual, medición de la abertura de la fisura y análisis termográfico basado en emisividad, complementado con un modelo de inferencia térmica mediante discretización espacial del muro. Este enfoque permite relacionar las variaciones térmicas detectadas con variables termo-físico-mecánicas asociadas a la pérdida de continuidad estructural, proporcionando un criterio más completo para la evaluación del riesgo estructural en muros de mampostería. De esta manera, el estudio no solo propone el uso de la termografía como herramienta de detección de fisuras, sino que plantea una metodología que permite interpretar las anomalías térmicas en términos de



comportamiento estructural, contribuyendo al desarrollo de técnicas de diagnóstico no destructivo aplicadas a la evaluación de edificaciones existentes, (López, 2019).

Justificación

El presente estudio se desarrolla en el contexto de la evaluación estructural de edificaciones existentes mediante técnicas de diagnóstico no destructivo. Desde una perspectiva científica, social y económica, la elección de una metodología basada en inspección visual, medición de fisuras y análisis termográfico responde a condiciones reales que suelen presentarse en la investigación aplicada en infraestructura civil. Aunque el estudio presenta limitaciones relacionadas con el tamaño de la muestra, la ausencia de validación experimental mediante ensayos destructivos y la falta de un análisis estadístico amplio, estas condiciones se encuentran justificadas por la naturaleza exploratoria del trabajo y por las restricciones técnicas asociadas al análisis de estructuras en servicio. Desde el punto de vista científico, la investigación busca contribuir al desarrollo de metodologías que permitan interpretar las anomalías térmicas detectadas mediante termografía infrarroja como indicadores del comportamiento estructural de muros de mampostería. Si bien la literatura científica ha demostrado la utilidad de la termografía para la detección de discontinuidades en materiales de construcción, aún existe un vacío en la integración de variables térmicas con parámetros mecánicos que permitan evaluar de manera más precisa el nivel de daño estructural en este tipo de elementos. En este sentido, el estudio plantea un enfoque metodológico que combina análisis térmico, medición de fisuras e inferencia termo-físico-mecánica, lo cual constituye un paso inicial hacia el desarrollo de herramientas de diagnóstico estructural más completas, (Martin, 2015).

Desde una perspectiva social, la investigación se realiza en una edificación destinada a actividades educativas, lo que implica que cualquier tipo de intervención estructural invasiva podría afectar la seguridad de los usuarios o interrumpir el funcionamiento normal del inmueble. En estos contextos, la aplicación de técnicas destructivas o pruebas de carga estructural resulta limitada debido a los riesgos operativos y a las restricciones administrativas que suelen existir en edificios en uso. Por esta razón, el empleo de técnicas no destructivas representa una alternativa adecuada para evaluar el estado estructural sin comprometer la integridad del edificio ni las actividades que se desarrollan en él. Finalmente, desde el punto de vista económico, la implementación de ensayos experimentales complejos o de



instrumentación estructural permanente requiere recursos financieros considerables que no siempre están disponibles en proyectos de investigación aplicada. La termografía infrarroja permite realizar evaluaciones rápidas, de bajo costo y sin intervención física en la estructura, lo que la convierte en una herramienta viable para la inspección preliminar de edificaciones. En conjunto, estas consideraciones justifican el enfoque metodológico adoptado y resaltan la importancia de continuar desarrollando investigaciones que amplíen y validen este tipo de técnicas en diferentes contextos estructurales, (Mohan, 2018).

METODOLOGÍA

La metodología utilizada en esta investigación se basa en un enfoque de diagnóstico estructural que integra la inspección visual del muro de mampostería, la medición de la abertura de la fisura y el análisis termográfico mediante el uso de una cámara infrarroja. Este procedimiento permite identificar discontinuidades en el material, evaluar el comportamiento térmico del muro y relacionar estas observaciones con el estado estructural del elemento. A partir de la información obtenida se establece una clasificación del riesgo estructural considerando niveles de alerta que permiten determinar si el daño observado corresponde a una condición superficial o si representa una situación de vulnerabilidad que requiere intervención técnica, (Narro, 2000).

Procedimiento

Paso 1. Selección del área de estudio

El primer paso consiste en seleccionar el área de estudio donde se realizará la evaluación estructural del muro de mampostería. En este proceso se identifican edificaciones que presenten signos visibles de deterioro o fisuras en sus elementos constructivos. Se realiza una revisión preliminar del entorno y de las condiciones de la estructura con el objetivo de determinar si el muro presenta características adecuadas para el análisis. La selección del área permite delimitar el objeto de estudio y establecer las condiciones iniciales del diagnóstico estructural, (Qu, 2020).

Paso 2. Inspección visual del muro

En este paso se realiza una inspección visual detallada del muro de mampostería para identificar la presencia de fisuras, grietas o deformaciones visibles en las superficies interior y exterior del elemento. Se analiza la orientación, trayectoria y longitud de la fisura con el fin de determinar su posible origen.



Esta inspección permite establecer un diagnóstico preliminar del estado del muro y proporciona información importante sobre la localización del daño y su relación con los elementos estructurales cercanos, (Cerón, 2026).

Paso 3. Registro fotográfico del daño

Posteriormente se realiza un registro fotográfico del muro con el propósito de documentar la apariencia y ubicación de la fisura. Las fotografías se toman desde diferentes ángulos para capturar la continuidad del daño tanto en el interior como en el exterior del muro. Este registro permite comparar visualmente la evolución de la fisura y constituye un soporte documental para el análisis posterior. Además, facilita la identificación de la trayectoria del daño y su relación con otros elementos constructivos, (Cerón, 2023a).

Paso 4. Medición de la abertura de la fisura

En esta etapa se procede a medir la abertura de la fisura utilizando herramientas de medición que permitan determinar el espesor aproximado de la grieta. La medición se realiza en diferentes puntos de la fisura para obtener un valor representativo de su apertura. Estos datos permiten comparar el tamaño de la grieta con valores de referencia utilizados en la clasificación del daño estructural. La información obtenida es fundamental para determinar el nivel de riesgo asociado a la fisura, (Ramses, 2017).

Paso 5. Identificación de elementos estructurales cercanos

En este paso se identifican los elementos estructurales que se encuentran en las proximidades de la fisura, como columnas, castillos de confinamiento o vigas de concreto. La presencia de estos elementos puede influir en la aparición de la grieta debido a diferencias en rigidez o en la transmisión de cargas. Analizar la ubicación de la fisura respecto a estos componentes permite comprender mejor el origen del daño y evaluar si la discontinuidad está relacionada con la interacción entre distintos materiales, (Cerón, 2024d).

Paso 6. Captura de imágenes termográficas

Una vez realizada la inspección visual, se procede a capturar imágenes termográficas del muro utilizando una cámara infrarroja. Estas imágenes registran la distribución de temperatura superficial del material y permiten identificar variaciones térmicas en el muro. Durante la captura se ajusta el valor de emisividad correspondiente al material del muro para obtener mediciones más precisas. Las imágenes termográficas constituyen una herramienta importante para detectar discontinuidades internas que no siempre son visibles a simple vista, (Restrepo, 2007).



Paso 7. Análisis de la distribución térmica

Después de obtener las imágenes termográficas, se analiza la distribución de temperatura superficial del muro. Este análisis permite identificar zonas donde existen anomalías térmicas que pueden estar asociadas a la presencia de fisuras, cambios de material o elementos estructurales. La comparación entre áreas sanas y áreas afectadas por la fisura permite reconocer patrones térmicos que ayudan a comprender el comportamiento físico del muro y su relación con el daño observado, (Cerón, 2023b).

Paso 8. Interpretación de las anomalías térmicas

En este paso se interpretan las anomalías térmicas detectadas en las imágenes termográficas para determinar si corresponden a discontinuidades en el material del muro. Las diferencias de temperatura pueden indicar la presencia de fisuras, vacíos o cambios en la conductividad térmica del material. Este análisis permite correlacionar la información obtenida mediante la termografía con los resultados de la inspección visual, proporcionando una comprensión más completa del estado físico del muro, (Revisión, 2022).

Paso 9. Clasificación del nivel de riesgo estructural

Con base en la información obtenida durante la inspección visual, la medición de la fisura y el análisis termográfico, se procede a clasificar el nivel de riesgo estructural del muro. Para ello se utilizan criterios de evaluación que consideran la apertura de la grieta y las anomalías térmicas detectadas. Esta clasificación permite identificar si el daño corresponde a una condición segura, a un estado de alerta o a una situación que requiere intervención estructural, (Cerón, 2024c).

Paso 10. Elaboración del diagnóstico estructural

Finalmente se elabora el diagnóstico estructural del muro a partir de la integración de todos los resultados obtenidos durante el proceso metodológico. Este diagnóstico describe el estado físico del elemento, el nivel de riesgo estructural y las posibles causas del daño observado. Además, se proponen recomendaciones para el mantenimiento o rehabilitación del muro en caso de que el daño represente una condición de vulnerabilidad. De esta manera se concluye el proceso de evaluación estructural del elemento analizado, (Rocha, 2017).



Pérdida térmica normalizada, ΔT^*

La pérdida térmica normalizada (ΔT^*) representa la diferencia relativa de temperatura entre la zona fisurada y el material sano del muro. Este parámetro permite identificar anomalías térmicas asociadas a discontinuidades estructurales. Al normalizar la diferencia térmica respecto al valor máximo observado, se obtiene un indicador adimensional que facilita comparar la intensidad del daño en distintas posiciones del muro. El perfil térmico del muro sano y otro sobre la fisura, una forma directa se calcula con la Ecuación 1:

$$\begin{aligned} \Delta T(x) &= T_{ref}(x) - T_{fis}(x) \\ \Delta T^*(x) &= \frac{T_{ref}(x) - T_{fis}(x)}{\max_x |T_{ref}(x) - T_{fis}(x)|} \quad (1) \\ \Delta T^*(x) &= \frac{|T_{ref}(x) - T_{fis}(x)|}{\Delta T_{max}} \end{aligned}$$

donde:

- $T_{ref}(x)$: temperatura del perfil de referencia, en zona sana
- $T_{fis}(x)$: temperatura medida sobre la fisura
- x : posición a lo largo del perfil analizado

La forma normalizada es: $\Delta T^* \in [0,1]$.

Una versión robusta aplicada es: $\Delta T_{max} = \max_x |T_{ref}(x) - T_{fis}(x)|$

Interpretación: $\Delta T^* \approx 0$: comportamiento térmico similar al material sano; $\Delta T^* \rightarrow 1$: máxima anomalía térmica local

Índice de laminación, IL

El índice de laminación se interpreta como una medida de separación interna o pérdida de continuidad, una formulación coherente es relacionarlo con el gradiente térmico local o con la pérdida térmica relativa.

Para determinar el IL se utiliza la Ecuación 2.



$IL(x) = \frac{\Delta T(x)}{T_{ref}(x) - T_{amb}}$	(2)
$IL(x) = \frac{T_{ref}(x) - T_{fis}(x)}{T_{ref}(x) - T_{amb}}$	
$IL(x) = \frac{\Delta T^*(x)}{\max_x \Delta T^*(x)}$	

donde:

- T_{amb} : temperatura ambiente: $\Delta T(x) = T_{ref}(x) - T_{fis}(x)$

En forma normalizada tiene sentido físico porque compara la perturbación térmica inducida por la fisura contra el “salto térmico disponible” respecto al ambiente. Esto representa una formulación simple y estable con una interpretación de: $IL \approx 0$: sin evidencia de separación interna; $IL > 0.5$: indicio de delaminación o discontinuidad relevante; $IL \rightarrow 1$: máxima pérdida de continuidad térmica

Pérdida relativa de rigidez, ϕ_k

Se vincula termografía con comportamiento mecánico con la rigidez local, esta disminuye con el aumento del daño, se determina con la Ecuación 3.

$\phi_k(x) = 1 - \frac{k_d(x)}{k_0}$	(3)
$k_d(x) = k_0(1 - D(x)) \quad \phi_k(x) = \frac{k_0 - k_d(x)}{k_0}$	
$\phi_k(x) = D(x) \quad \alpha + \beta + \gamma = 1$	
$D(x) = \alpha \Delta T^*(x) + \beta IL(x) + \gamma a^*(x)$	
$\phi_k(x) = \alpha \Delta T^*(x) + \beta IL(x) + \gamma a^*(x)$	
$k_d(x) = k_0(1 - \Delta T^*(x)) \quad \phi_k(x) = \Delta T^*(x)$	

donde:

- k_0 : rigidez de la zona sana
- $k_d(x)$: rigidez local en la zona dañada.
- $a^*(x)$: apertura equivalente normalizada de la fisura

- α, β, γ : pesos de calibración

Como normalmente no se mide k_d directamente, se infiere a partir de una variable de daño térmico. Esto se determina con la Ecuación 3.

La **rigidez a partir del daño térmico** se determina con la Ecuación 4, esto se basa en la relación entre las anomalías de temperatura detectadas mediante termografía infrarroja y el deterioro interno del material. Cuando existe una fisura o discontinuidad, el flujo de calor en el muro se altera, generando variaciones térmicas medibles. Estas variaciones pueden asociarse con cambios en las propiedades mecánicas del material, especialmente con la reducción de su rigidez. De esta manera, el análisis térmico permite determinar la pérdida de capacidad estructural.

$$\begin{aligned}
 \Delta T(x) &= T_{ref}(x) - T_{fis}(x) \\
 \Delta T^*(x) &= \frac{|T_{ref}(x) - T_{fis}(x)|}{\max_x |T_{ref}(x) - T_{fis}(x)|} \\
 IL(x) &= \frac{T_{ref}(x) - T_{fis}(x)}{T_{ref}(x) - T_{amb}} \\
 \phi_k(x) &= 1 - \frac{k_d(x)}{k_0} \\
 \phi_k(x) &= \alpha \Delta T^*(x) + \beta IL(x) + \gamma a^*(x), \alpha + \beta + \gamma = 1
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Los daños en la obra civil que puedan ser atribuibles al procedimiento constructivo se evalúan según tres niveles de análisis. Estos niveles se basan en criterios de control, en el que se implementa el método de análisis de deformaciones, rigidez, resistencia y elasticidad estructural, (Cerón, 2018).

Riesgo estructural

Los niveles presentados se clasifican de acuerdo con la Figura 2.

Figura 2: Descripción del riesgo estructural

Riesgo estructural		
Orden de fase	Estado de la fase de emergencia	Color indicativo
1	Alerta previa	Mínimo o nulo

2	Alerta	Mitad
3	Alarma	Alto

El riesgo "Nulo" está presente para clasificar la estructura como "Segura", porque en ningún momento ha alcanzado sus límites de servicio; Su capacidad y rendimiento son óptimos o están ligeramente comprometidos, y puede ser necesaria una intervención menor con mantenimiento preventivo o rehabilitación del rendimiento estructural (Rodríguez, 2018).

Existe un riesgo "medio" para clasificar la estructura como "Incierta", porque ya ha alcanzado sus límites de servicio, pero no hay indicios de alcanzar el límite de falla (en este caso, se requieren pruebas de laboratorio para verificar su resistencia, una inspección detallada mediante un análisis estructural detallado y recomendaciones para reparar el rendimiento estructural mediante confinamiento, contención, o se requieren procedimientos de mallado), a este nivel, su rendimiento y capacidad ya son limitados (Rechilla, 2017).

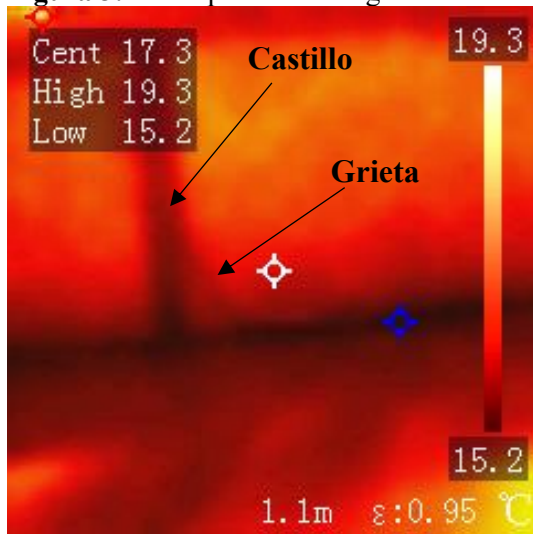
Existe un riesgo "Alto" para clasificar la estructura como "Insegura" (se requiere una inspección detallada utilizando un análisis estructural detallado, y se requieren recomendaciones para reconstruir el rendimiento estructural utilizando procedimientos de confinamiento o malla). En este nivel, su capacidad ha llegado a su límite y su rendimiento es desfavorable.

RESULTADOS

La Figura 3, muestra un análisis termográfico de un muro de mampostería donde se identifican variaciones de temperatura. Se observa un castillo de confinamiento y una grieta, detectados mediante diferencias térmicas, lo que permite identificar posibles discontinuidades estructurales. (Rodríguez, 2018). Se observa un resultado termográfico de un muro de mampostería obtenido mediante una cámara infrarroja. Se observa una variación de temperaturas entre aproximadamente 15.2 °C y 19.3 °C, representadas mediante una escala de colores. En la zona central aparece una franja vertical oscura identificada como el castillo de confinamiento, mientras que una línea horizontal señala la presencia de una grieta. Estas diferencias térmicas evidencian discontinuidades en el material del muro, permitiendo

identificar elementos estructurales y posibles zonas de daño mediante el análisis de emisividad ($\epsilon = 0.95$), (Seoane, 2012).

Figura 3: Descripción del riesgo estructural utilizando una cámara termográfica



La Figura 4. presenta una evaluación de **deformación asociada a un mecanismo de falla en un muro**. Se muestra la medición de una **grieta con apertura de 0.6 cm (6 MM.)**, obtenida mediante inspección. Los valores de referencia clasifican el daño en tres niveles, Interpretación según CENAPRED; Fisuras menores a 1 mm suelen asociarse a retracción o cambios térmicos. Entre 1 y 5 mm indican posible movimiento estructural o asentamiento. Mayores a 5 mm pueden comprometer la estabilidad del muro y requieren intervención de prevención del riesgo. Superiores a 10 mm se consideran daños graves que pueden requerir refuerzo o reconstrucción para gestión de riesgo, (Shrestha, 2025).

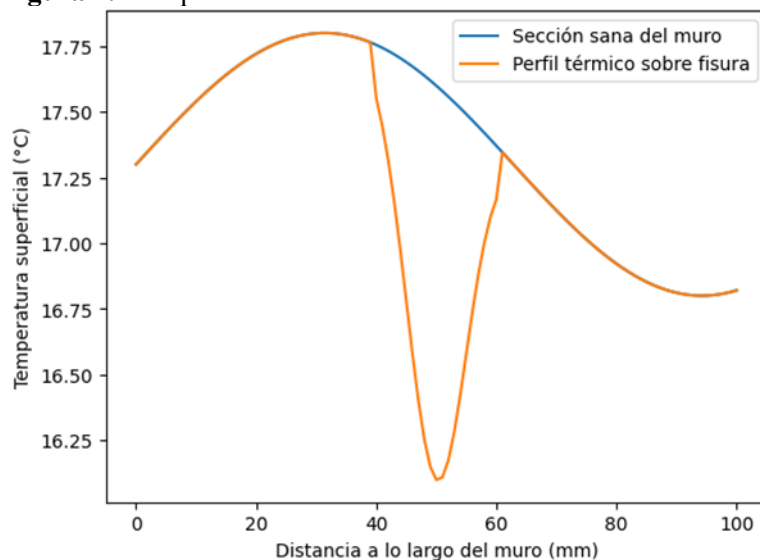
Tabla 1. Clasificación del daño estructural (CENAPRED 2016)

<i>Apertura de fisura</i>	<i>Clasificación del daño</i>	<i>Interpretación estructural</i>	<i>Nivel de riesgo</i>
< 1 mm	Fisura leve	Afecta recubrimientos o acabados	Bajo
1 – 5 mm	Fisura moderada	Puede indicar deformación del muro	Medio
5 – 10 mm	Grieta severa	Posible pérdida de rigidez estructural	Alto
> 10 mm	Fractura o falla estructural	Riesgo de inestabilidad o colapso	Muy alto

ANÁLISIS

La inferencia termográfica con mallado milimétrico tipo elemento finito es un método de análisis que utiliza datos de temperatura obtenidos por termografía para estudiar el comportamiento térmico de un material. El muro se divide en pequeñas celdas o mallas milimétricas, permitiendo identificar variaciones térmicas asociadas a fisuras, discontinuidades o cambios en las propiedades del material. La Figura 4, muestra un análisis de inferencia termográfica con mallado milimétrico tipo elemento finito aplicado a un muro. Se comparan dos perfiles térmicos: una sección sana del muro y el perfil térmico sobre una fisura, (Zapico, 2013).

Figura 4: Comportamiento térmico del material

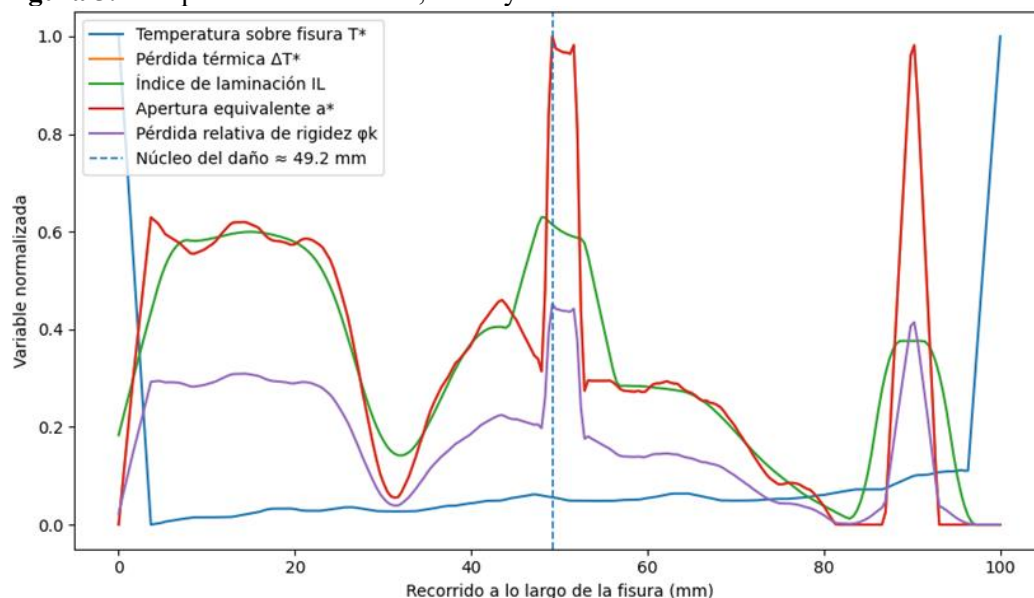


La temperatura superficial varía entre aproximadamente 16.1 °C y 17.8 °C a lo largo de 100 mm. La curva asociada a la fisura presenta una caída térmica pronunciada cerca de 50 mm, indicando una discontinuidad térmica causada por la grieta, lo que sugiere alteración en la transferencia de calor y posible debilidad estructural.

La Figura 5, muestra las variables **termo-físico-mecánicas normalizadas** analizadas a lo largo de una fisura en un muro, se utilizan con el objetivo de identificar el comportamiento térmico y estructural del daño. La **Temperatura sobre fisura (T^*)**, Representa la temperatura superficial medida directamente sobre la grieta. Permite observar variaciones térmicas causadas por discontinuidades del material y cambios en la transferencia de calor. La **Pérdida térmica (ΔT^*)**, Indica la diferencia de temperatura entre la zona fisurada y el material circundante. Valores altos sugieren alteraciones en el flujo térmico

asociadas a la presencia de la grieta. El **Índice de laminación (IL)**, Es una Variable que describe el nivel de separación o delaminación entre capas del material. Valores elevados indican pérdida de continuidad o presencia de daño interno. La **Apertura equivalente (a^*)**, Representa una estimación normalizada de la abertura de la fisura a lo largo del muro. Permite identificar las zonas donde la grieta presenta mayor separación. La **Pérdida relativa de rigidez (ϕ_k)**, Mide la disminución de la rigidez estructural del material en la zona dañada. Valores altos indican una reducción en la capacidad mecánica del muro. Y por ultimo La **línea vertical punteada (~ 49.2 mm)** marca el **núcleo del daño**, donde se concentran las mayores anomalías térmicas y mecánicas asociadas a la fisura, (Restrepo, 2007).

Figura 5: Comportamiento térmico, físico y mecánico del material



La Figura 5, presenta el análisis de resultados a lo largo de una fisura en un muro, evaluadas mediante un modelo normalizado basado en termografía e inferencia numérica. El eje horizontal representa el recorrido a lo largo de la fisura (0–100 mm), mientras que el eje vertical muestra las variables normalizadas entre 0 y 1. La línea punteada ubicada aproximadamente en 49.2 mm identifica el núcleo del daño, donde se concentran las mayores anomalías. La temperatura sobre la fisura (T^*), representada en color azul, muestra variaciones moderadas a lo largo del muro, con valores bajos cercanos a 0.05–0.10 en la zona central y picos cercanos a 1 en los extremos. En términos de riesgo estructural, valores menores a 0.3 se asocian con riesgo bajo, mientras que incrementos abruptos pueden indicar heterogeneidades térmicas relacionadas con discontinuidades, (Qu, 2020).

La pérdida térmica (ΔT^*), en color naranja, presenta valores intermedios entre 0.3 y 0.6, alcanzando su mayor variación cerca del núcleo del daño. Este rango corresponde a un riesgo estructural medio, ya que evidencia alteraciones en la transferencia de calor provocadas por la presencia de la grieta. El índice de laminación (IL), mostrado en verde, alcanza valores cercanos a 0.6 en la zona crítica, lo que indica una posible separación interna del material. Valores mayores a 0.5 se interpretan como riesgo medio-alto, asociado a pérdida de continuidad en el muro. La apertura equivalente de la fisura (a^*), representada en rojo, alcanza valores cercanos a 1.0 en el núcleo del daño, lo que corresponde a riesgo estructural alto, ya que refleja una mayor apertura de la grieta. Finalmente, la pérdida relativa de rigidez (ϕ_k), en color morado, presenta valores cercanos a 0.4–0.45 en la zona central, indicando riesgo medio, debido a la disminución de la capacidad mecánica del material en la región afectada. En conjunto, las variables confirman la existencia de una zona crítica localizada en el núcleo de la fisura.

DISCUSIÓN

La interpretación de las variables termo-físico-mecánicas obtenidas mediante inferencia termográfica permite comprender el comportamiento del daño estructural presente en el muro analizado. Los resultados muestran que las variaciones térmicas registradas sobre la fisura generan cambios significativos en parámetros asociados al comportamiento mecánico del material. La coincidencia de los picos de varias variables alrededor de los **49.2 mm**, identificado como núcleo del daño, sugiere que en esa zona se concentra la mayor discontinuidad estructural. La **pérdida térmica (ΔT^*)** y el **índice de laminación (IL)** presentan incrementos importantes en esta región, lo que indica alteraciones en la transferencia de calor y posibles procesos de separación o debilitamiento entre los componentes del material. Este comportamiento es consistente con estudios que indican que las fisuras modifican el flujo térmico en los muros, generando contrastes térmicos detectables mediante termografía infrarroja. Por otra parte, la **apertura equivalente de la fisura (a^*)** alcanza valores elevados, lo que sugiere una discontinuidad significativa en la estructura del muro. De manera complementaria, la **pérdida relativa de rigidez (ϕ_k)** evidencia una reducción en la capacidad mecánica del material en la zona afectada. En conjunto, estas variables confirman que la grieta no es únicamente superficial, sino que está asociada a un proceso de deterioro que afecta la continuidad estructural del elemento. Este tipo de análisis permite



identificar zonas críticas y contribuir a la evaluación del riesgo estructural mediante técnicas de diagnóstico no destructivas, (Mohan, 2018).

CONCLUSIONES

El análisis del muro de mampostería mediante inspección visual, medición de la abertura de la fisura y termografía infrarroja permitió identificar la presencia de una discontinuidad estructural asociada a una grieta activa. Las variaciones térmicas detectadas mediante el análisis de emisividad evidencian alteraciones en el flujo de calor del material, lo que confirma la existencia de zonas con pérdida de continuidad. La inferencia termográfica complementada con mallado milimétrico permitió localizar el núcleo del daño y estimar variables termo-físico-mecánicas relacionadas con la pérdida de rigidez estructural. En conjunto, la metodología aplicada constituye una herramienta útil para la evaluación del riesgo estructural en muros de mampostería mediante técnicas de diagnóstico no destructivas. Los resultados obtenidos con la implementación de la metodología concluyen con los siguientes hallazgos, (Rocha, 2017):

1. Diagnóstico no destructivo: Una de las principales ventajas del uso de termografía infrarroja en la evaluación de muros de mampostería es que se trata de una técnica de diagnóstico no destructiva. Este método permite identificar anomalías térmicas asociadas a fisuras, vacíos o discontinuidades internas sin necesidad de intervenir físicamente en la estructura. Como resultado, es posible evaluar el estado del muro sin afectar su integridad ni alterar sus condiciones de servicio. Además, este tipo de análisis reduce costos de inspección y permite realizar evaluaciones rápidas en edificaciones existentes.
2. Identificación temprana del daño: Otra ventaja importante de la metodología utilizada es la capacidad de detectar daños en etapas tempranas. Las diferencias térmicas registradas mediante termografía permiten identificar cambios en el comportamiento del material antes de que las grietas se vuelvan visibles o aumenten considerablemente su tamaño. Esto facilita la identificación de zonas vulnerables dentro del muro y permite implementar acciones de mantenimiento o rehabilitación preventiva. De esta manera, la detección temprana contribuye a reducir el riesgo estructural y a prolongar la vida útil de la edificación.
3. Integración de variables termo-físico-mecánicas: La integración de variables obtenidas a partir del análisis termográfico representa otra ventaja relevante de este enfoque. Mediante el procesamiento de



datos térmicos es posible inferir parámetros como pérdida de rigidez, índice de laminación y apertura equivalente de fisuras. Esta información permite comprender con mayor precisión el comportamiento estructural del muro y localizar zonas críticas donde se concentra el daño. Al combinar información térmica y mecánica, el análisis proporciona una evaluación más completa del estado estructural del elemento estudiado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CENAPRED_GB. (2017). Guia basica para la elaboracion de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. En *Jurnal Sains dan Seni ITS* (Vol. 6, Número 1). <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf><http://fiskal.kemenkeu.go.id/ejournal><http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001><http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055><https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006><https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006>
- Cerón. (2020). Cálculo de la resistencia del suelo al interpolarlo con el MEF Calculation of soil resistance by interpolating it with the FEM. *Padi, UAEH*. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v8i15.4974>
- Cerón, J. (2024a). Estudio del concreto simple con agregado de caucho aplicando el MEF. *Padi, UAEH*, 12, 78–87. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial5.13652>
- Cerón, J. (2024b). Estudio del desarrollo local aplicando los criterios de la agenda 2030. *PADI*, 11(22), 144–153. <https://doi.org/10.29057/icbi.v11i22.11058>
- Cerón, J. (2024c). Evaluación de un letrero publicitario de acero estructural. *IDEAS EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA*, 2, 13. <https://doi.org/10.36677/rici.v2i3> Cerón-Carballo
- Cerón, J. (2024d). Nivel de evaluación del Mecanismo de falla en una construcción de 20 años de edad. *Padi, UAEH*, 11(22), 129–137. <https://doi.org/10.29057/icbi.v11i22.11067>
- Cerón, J. (2025a). Análisis Territorial y Funcional del Sector de la Construcción en el Estado De Hidalgo, México. *Ciencia latina*, 9(4), 23. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.18743
- Cerón, J. (2025b). Evaluación de la abrasión de la grava con agregado de caucho. *Padi, UAEH*, 13(25), 173–185. <https://doi.org/10.29057/icbi.v13i25.12887>
- Cerón, J. (2018). Study of Behaviour Dynamic of the Pedestrian Loading on a Footbridge. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 7(08), 206–213.



<https://doi.org/https://www.ijert.org/call-for-papers>

Cerón, J. (2020). Cálculo de la resistencia del suelo al interpolarlo con el MEF. *Padi*, 8(15), 7–13.

<https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.29057/icbi.v8i15.4974>

Cerón, J. (2022a). Análisis de riesgo en puente peatonal tipo armadura utilizando sensores. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 9(18), 40–46.

<https://doi.org/10.29057/icbi.v9i18.7354>

Cerón, J. (2022b). *Estimación de la localización del sistema estructural Outrigger basado en el cambio de rigidez en edificios altos Estimation of the location of the Outrigger structural system based on the change in stiffness in tall buildings*. 9(18), 23–28. DOI:

<https://doi.org/10.29057/icbi.v9i18.7152>

Cerón, J. (2023a). *Mitigación de riesgo de bancarrota de empresas constructoras aplicando control inferencial Bankruptcy risk mitigation of construction companies applying inferential control*.

11(21), 50–63. <https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.29057/icbi.v11i21.10113>

Cerón, J. (2023b). *Sectorización de una red de agua potable utilizando el método de elemento finito Sectorization of a drinking water network using the finite element method*. 11(21), 142–150.

DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v11i21.11017>

Cerón, J. (2024a). Criterios de diagnóstico de daño en estructuras de acero. *Padi, UAEH*, 12, 8–16.

Cerón, J. (2024b). Desempeño Competitivo y Tendencias del Sector de la Construcción. *Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica*, 5(3), 20.

<https://doi.org/doi.org/10.61384/r.c.a..v5i3.1451>

Cerón, J. (2024c). Structural Damping in a Pedestrian Footbridge Under Controlled Traffic Density. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 13(07).

<https://doi.org/https://www.ijert.org/structural-damping-in-a-pedestrian-footbridge-under-controlled-traffic-density>

Cerón, J. (2025). Covid-19, Análisis de riesgo en la programación de la Obra Civil. *Ciencia latina*, 9(1), 20. https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i3.18153

Cerón, J. (2026). Índice de integridad del suelo en un muro de contención con gaviones. *Ideas en ciencias de la ingeniería*, 4(1), 39–58. <https://doi.org/https://doi.org/10.36677/rici.v4i1.26527>



- Chagoyén, E. (2009). Rectangular Shallow Diseño Óptimo Foundations de Cimentaciones Superficiales Optimal Design . Formulation Formulación. 2009, 8(2), 13.
<https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127619798006> Cómo
- Chirinos, I. (2021). Medida de espesor interno en estructura tipo sándwich utilizando termografía infrarroja activa. En *Universidad de Cantabria*.
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/22710/436683.pdf?sequence=1>
- Karpf, A. (2023). Detection of cracks in concrete using near - IR fluorescence imaging. *Scientific Reports*, 0123456789, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45917-3>
- López, J. (2019). *Desarrollo de un método de detección de fisuras en piezas de aluminio fundidas a alta presión mediante termografía infrarroja*.
<https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/802/1/Jesús%20López%20González.pdf>
- Martin, M. (2015). Termografía activa y fotogrametría de objeto cercano para la detección. En *Universidad de Salamanca*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=103986>
- Mohan, A. (2018). Crack detection using image processing : A critical review and analysis. *Alexandria Engineering Journal*, 57(2), 787–798. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.01.020>
- Narro, A. (2000). *Métodos de Pruebas No Destructivas*.
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5696/T11973%20MORELOS%200MORENO,%20ALVARO%20%20%20MONOG..pdf?sequence=1>
- Qu, Z. (2020). Development and Application of Infrared Thermography Non-Destructive Testing Techniques. *Sensors*, 20(2), 26. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/14/3851>
- Ramses, G. (2017). *Detección de delaminaciones en materiales compuestos de fibra de carbono con cámara infrarroja*. https://www.ndt.net/article/panndt2019/papers/4_Gerardo_Reyes.pdf
- Rechilla. (2017). Estimación de parámetros modales de estructuras civiles a partir de la función de respuesta en frecuencia. *Revista Internacional de Metodos Numericos para Calculo y Diseno en Ingenieria*, 33(3–4), 197–203. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2016.02.001>
- Restrepo, B. (2007). Procesamiento de imágenes infrarrojas para la detección de defectos en materiales. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas Colombia*, 20(1), 13.
<https://www.redalyc.org/pdf/2570/257021012004.pdf>



- Revisión, U. (2022). *El ensayo no destructivo usando termografía infrarroja en el mundo y en América Latina* : 27(01). DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.24717>
- Rocha, A. (2017). La termografía infrarroja como un ensayo no destructivo para la inspección de puentes de concreto armado: Revisión del estado del arte. *Revista ALCONPAT*, 3, 200–214. <https://doi.org/10.21041/ra.v7i3.223>
- Rodríguez. (2018). Índice De Daño En el Desempeño Sísmico de Edificios de Concreto Reforzado con Piso Suave: Análisis Comparativo Con Muros Y Sin Muros. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 5(5), 59–68. <https://doi.org/10.29057/aactm.v5i5.9104>
- Sánchez, H. (2012). Análisis de ecuaciones de atenuación para el proyecto amenaza sísmica del departamento de antioquia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 31, 85–96. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/PER01000385620>
- Seoane, J. (2012). Proyecto Final de Carrera detección de anomalías en presas. *Estudios: Ingeniería de Telecomunicaciones*, 80. <https://redi.anii.org.uy/jspui/handle/20.500.12381/3135>
- Shrestha, P. (2025). A Review of Infrared Thermography Applications for Civil Infrastructure. *techscience*, 19(2), 39. <https://doi.org/10.32604/sdhm.2024.049530>
- Zapico, E. (2013). Observación y cuantificación de defectos en soldaduras a través del procesamiento digital de imágenes termográficas. *Ingeniería mecánica*, 16(3), 246–256. <https://www.redalyc.org/pdf/2251/225129326009.pdf>

