

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

DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA BASADO EN CRITERIOS DE VULNERABILIDAD, CAPACIDAD Y DESEMPEÑO MEDIANTE ANÁLISIS EVOLUTIVO DE FISURAS

STRUCTURAL DIAGNOSIS OF A MASONRY WALL BASED ON VULNERABILITY, CAPACITY AND PERFORMANCE CRITERIA THROUGH EVOLUTIONARY CRACK ANALYSIS.

Luis Eduardo Hernández Martínez
Licenciatura en Ingeniería Civil, UAEH

Jesús Emmanuel Cerón Carballo
Cuerpo Académico Ingeniería Civil Forense, UAEH

Humberto Iván Navarro Gómez
Cuerpo Académico Ingeniería Civil Forense, UAEH

Eber Pérez Isidro
Cuerpo Académico Ingeniería Civil Forense, UAEH

Diagnóstico estructural de un muro de mampostería basado en criterios de vulnerabilidad, capacidad y desempeño mediante análisis evolutivo de fisuras.

Luis Eduardo Hernández Martínez¹
he353949@uaeh.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0004-7801-9550>
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 Academico Ingeniería Civil Forense,
UAEH
Estados Unidos Mexicanos

Humberto Iván Navarro Gómez
humberto_navarro@uaeh.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2338-4863>
Cuerpo Academico Ingeniería Civil Forense,
UAEH
Estados Unidos Mexicanos

Eber Pérez Isidro
eber_perez@uaeh.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-8500-710X>
Cuerpo Academico Ingeniería Civil Forense,
UAEH
Estados Unidos Mexicanos

RESUMEN

El presente estudio analiza la evolución del daño estructural en un muro de mampostería mediante la evaluación temporal del crecimiento de una fisura caracterizada por tres parámetros geométricos: longitud horizontal (L_x), longitud vertical (L_y) y apertura transversal (L_z), considerando registros del periodo 2010–2023. A partir de la digitalización y análisis de las series temporales, se identificó un comportamiento no lineal del deterioro estructural. Los resultados cuantitativos muestran incrementos máximos aproximados de hasta 100 % en L_y , valores cercanos a 40–45 % en L_z y variaciones moderadas en L_x entre 10 y 20 %. El análisis indica que el crecimiento vertical constituye el mecanismo dominante del daño, asociado a deformaciones diferenciales y redistribución de esfuerzos internos. La comparación con criterios normativos establecidos por CENAPRED (2018), FEMA 356 y ASCE/SEI 41-17 permitió clasificar el desempeño estructural en tres niveles: estado de servicio (10–15 %), daño moderado (15–30 %) y daño severo (>30 %), observándose que L_y supera consistentemente el umbral severo en los últimos años evaluados. La validación estadística mediante modelos cuadráticos presentó coeficientes de determinación de $R^2 \approx 0.915$ para L_y , $R^2 \approx 0.608$ para L_x y $R^2 \approx 0.506$ para L_z , confirmando una tendencia acumulativa del daño. Como hallazgo principal, se evidencia que el deterioro estructural está controlado por un proceso progresivo dependiente del tiempo y condicionado por efectos mecánicos y ambientales, lo que justifica la implementación de medidas de intervención preventiva.

Palabras clave: Diagnostico; Capacidad; Desempeño; Demanda; Vulnerabilidad; Muro; Mampostería.

¹ Autor principal.
Correspondencia: jesus_ceronc@uaeh.edu.mx

Structural diagnosis of a masonry wall based on vulnerability, capacity and performance criteria through evolutionary crack analysis.

ABSTRACT

This study analyzes the evolution of structural damage in a masonry wall by evaluating the temporal growth of a crack characterized by three geometric parameters: horizontal length (L_x), vertical length (L_y), and transverse opening (L_z), considering records from the period 2010–2023. Through the digitization and analysis of the time series, a nonlinear behavior of structural deterioration was identified. The quantitative results show maximum increases of approximately 100% in L_y , values close to 40–45% in L_z , and moderate variations in L_x between 10 and 20%. The analysis indicates that vertical growth is the dominant damage mechanism, associated with differential deformations and redistribution of internal stresses. Comparison with regulatory criteria established by CENAPRED (2018), FEMA 356, and ASCE/SEI 41-17 allowed for the classification of structural performance into three levels: serviceable condition (10–15%), moderate damage (15–30%), and severe damage (>30%). L_y consistently exceeded the severe threshold in the most recent years evaluated. Statistical validation using quadratic models yielded coefficients of determination of $R^2 \approx 0.915$ for L_y , $R^2 \approx 0.608$ for L_x , and $R^2 \approx 0.506$ for L_z , confirming a cumulative damage trend. The main finding is that structural deterioration is controlled by a progressive, time-dependent process conditioned by mechanical and environmental effects, justifying the implementation of preventive intervention measures.

Keywords: Diagnosis; Capacity; Performance; Demand; Vulnerability; Wall, Masonry.

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



INTRODUCCIÓN

Las estructuras de mampostería constituyen uno de los sistemas constructivos más utilizados en edificaciones de baja y mediana altura debido a su economía, facilidad constructiva y adecuado comportamiento ante cargas gravitacionales. Sin embargo, este tipo de estructuras presenta una alta vulnerabilidad frente a acciones diferenciales, variaciones ambientales y procesos de degradación progresiva, los cuales pueden manifestarse mediante la aparición y evolución de fisuras. El estudio de estas discontinuidades resulta fundamental para comprender el desempeño estructural a lo largo del tiempo y establecer criterios adecuados de diagnóstico, mantenimiento y rehabilitación. (Marroquin, 2017).

Las fisuras en muros de mampostería representan indicadores directos del estado mecánico del sistema estructural, ya que reflejan la redistribución interna de esfuerzos y la pérdida gradual de rigidez y continuidad del material. Su desarrollo puede estar asociado a diversos factores, entre los que destacan asentamientos diferenciales, cambios volumétricos inducidos por humedad y temperatura, cargas no previstas, deterioro de materiales y acciones sísmicas o dinámicas. En este contexto, el análisis geométrico y temporal del crecimiento de fisuras permite evaluar el nivel de daño estructural y anticipar posibles escenarios de falla. (Carrión, 2001). Diversos estudios han demostrado que la evolución del daño en estructuras existentes no sigue un comportamiento lineal, sino que responde a procesos acumulativos y no lineales condicionados por la interacción entre variables mecánicas y ambientales. Por ello, resulta necesario emplear metodologías que integren análisis cuantitativos y cualitativos, combinando observaciones experimentales con herramientas estadísticas y criterios normativos reconocidos internacionalmente. Organismos como el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), así como lineamientos internacionales establecidos en FEMA 356 y ASCE/SEI 41-17, proponen marcos de referencia para la evaluación del desempeño estructural mediante niveles de daño y estados límite que permiten clasificar la seguridad y funcionalidad de las edificaciones existentes, (Cerón, 2020).

En este trabajo se analiza la evolución del daño en un muro de mampostería mediante el estudio temporal del crecimiento de una fisura caracterizada por tres parámetros geométricos principales: longitud horizontal (L_x), longitud vertical (L_y) y apertura transversal (L_z). A partir de la digitalización de



registros gráficos correspondientes al periodo 2010–2023, se construye una base de datos que permite evaluar el comportamiento progresivo del deterioro estructural. Posteriormente, se aplican modelos de regresión cuadrática para describir la tendencia del daño y validar estadísticamente su evolución mediante indicadores de ajuste. El enfoque adoptado permite correlacionar la respuesta geométrica de la fisura con criterios reglamentarios de valoración estructural, identificando niveles de servicio, daño moderado y daño severo. Asimismo, el análisis integra la interpretación física del fenómeno con métricas cuantitativas que facilitan la toma de decisiones técnicas orientadas a la conservación estructural. (ISCDF, 2018).

El objetivo principal del estudio consiste en establecer un procedimiento de evaluación que combine análisis temporal, validación estadística y criterios normativos para diagnosticar el desempeño estructural de muros de mampostería afectados por fisuración progresiva. De esta manera, se busca contribuir al desarrollo de metodologías prácticas y reproducibles que permitan mejorar la gestión del riesgo estructural y apoyar estrategias de mantenimiento preventivo en edificaciones existentes.

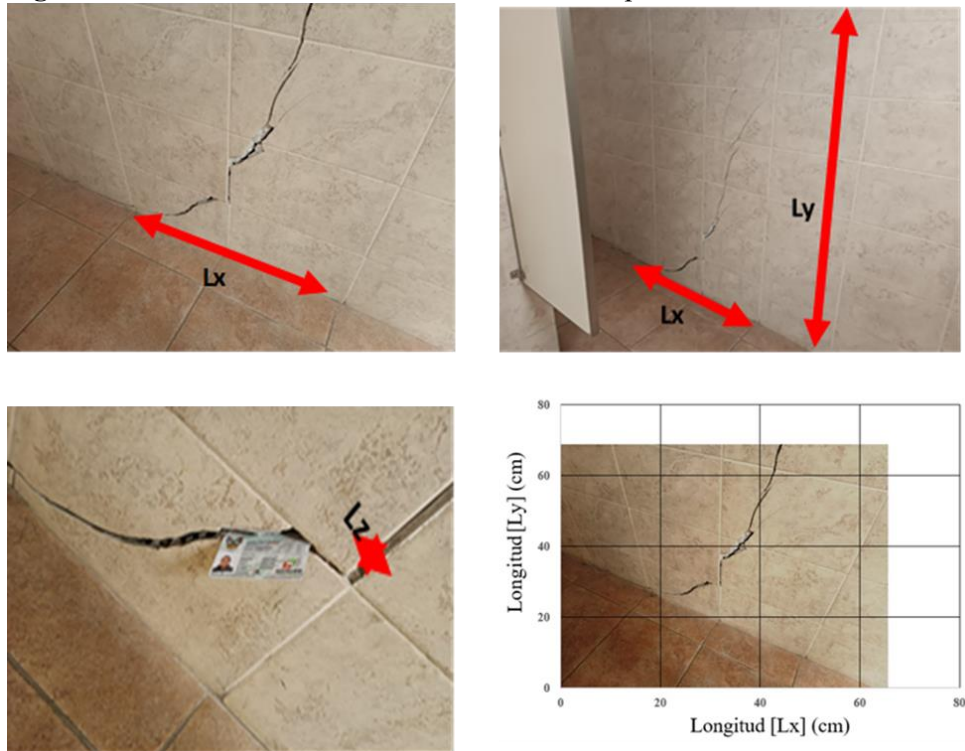
La vulnerabilidad es la incapacidad de resistencia cuando se presenta un fenómeno amenazante, o la incapacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre (ISCDF, 2018), **La Capacidad** es la cualidad de un material o una construcción civil de ser apto para realizar una acción determinada sin sufrir vulnerabilidad estructural. (ISCDF, 2018). **El Desempeño**, es el resultado de la capacidad estructural de una obra civil para soportar los esfuerzos aplicados a los materiales de su construcción para obtener un resultado deseado durante su vida útil, sin que aparezca vulnerabilidad estructural. (ISCDF, 2018).



Zona de estudio

El caso de estudio se centra en una construcción destinada al uso sanitario, específicamente en un muro cabecero, ubicado en la localidad conocida, municipio de Mineral de la Reforma en el estado de Hidalgo (Escamilla, 2018).

Figura 1: Geometría de la fisura en el muro de mampostería



La **Figura 1**, muestra la zona de daño, se percibe una fisura con una longitud considerable, la imagen está montada en una malla representativa, se observa la malla graduada sin escala con acotaciones en centímetros, la malla se encuentra montada en la pared indicando las dimensiones del daño (Morejón, 2017). Muestra la zona de estudio correspondiente a un muro de mampostería revestido con recubrimiento cerámico en el que se observa una fisura visible que atraviesa la superficie del muro. Sobre la fotografía se ha superpuesto una malla de referencia que permite identificar las dimensiones aproximadas del daño mediante un sistema de coordenadas cartesianas representado por los ejes de longitud horizontal (L_x) y longitud vertical (L_y), ambos expresados en centímetros, (Cerón, 2024a).

Tabla 1: Parametros del Estudio.

Parámetro	Valor
Material	Mampostería de block
Módulo De Elasticidad	$E = 30,600 \text{ kg/cm}^2$
Coefficiente De Poisson	$\nu = 0.20$
Tipo De Elemento	triangular 2D (T3)
Tipo De Análisis	estado plano de esfuerzos
Condición Base	empotramiento
Bordes Laterales	restricción horizontal
Carga Superior	carga vertical distribuida

La Tabla 1, presenta los parámetros mecánicos y de modelación estructural utilizados para representar el comportamiento de un muro de mampostería de block mediante un análisis numérico con el método de los elementos finitos. El material considerado corresponde a mampostería de block, para la cual se adopta un módulo de elasticidad de $30,600 \text{ kg/cm}^2$, valor representativo para este tipo de material en estudios estructurales. Asimismo, se emplea un coeficiente de Poisson $\nu = 0.20$, que describe la relación entre las deformaciones laterales y longitudinales del material cuando se encuentra sometido a esfuerzos.

Tabla 2: Parametros del mallado.

Zona	Tamaño Elemento	Elementos
Zona General	5 cm	~1000
Zona de Fisura	2 cm	~400
Número de Nodos	—	820

El modelo estructural se discretiza mediante elementos triangulares bidimensionales de tres nodos (T3) como se presenta en la Tabla 2, los cuales permiten representar adecuadamente geometrías irregulares y zonas de concentración de esfuerzos. El análisis se realiza bajo la condición de estado plano de esfuerzos, apropiada para elementos delgados como muros. En cuanto a las condiciones de frontera, se considera empotramiento en la base, restricción horizontal en los bordes laterales y carga vertical distribuida en la parte superior que corresponden a las acciones gravitacionales que actúan sobre el muro.

La malla facilita el análisis geométrico de la fisura y permite establecer mediciones comparativas de su crecimiento. La fisura presenta una trayectoria irregular que inicia en la zona inferior del muro y se



propaga hacia la parte superior con una inclinación predominante vertical. A lo largo de su recorrido se observan cambios de dirección y ligeras ramificaciones, lo que sugiere la presencia de redistribuciones internas de esfuerzos dentro del sistema estructural. La apertura de la fisura varía en distintos puntos, evidenciando un proceso progresivo de separación entre los materiales del muro, (Cerón, 2024b). El recubrimiento cerámico permite identificar con mayor claridad el desarrollo de la discontinuidad estructural, ya que las juntas entre piezas sirven como referencia visual para la propagación del daño. En conjunto, la imagen documenta la evidencia física del deterioro estructural y constituye el punto de partida para el análisis geométrico de las variables L_x , L_y y L_z utilizadas en la evaluación del comportamiento del muro de mampostería. (García, 2007).

METODOLOGÍA

La metodología empleada en este estudio se basa en la aplicación de dos criterios de evaluación estructural complementarios que permiten analizar el estado actual del muro de mampostería y estimar el comportamiento mecánico asociado al crecimiento de la fisura. El primer criterio corresponde al estudio físico actual del daño, el cual se centra en la identificación y clasificación de las manifestaciones visibles presentes en la zona de estudio. Este análisis se realiza mediante la observación directa de la fisura y la medición de sus características geométricas principales: longitud horizontal (L_x), longitud vertical (L_y) y apertura transversal (L_z).

Estas variables permiten describir cuantitativamente la geometría del daño y evaluar su evolución temporal, (Cerón, 2022). Se empleó una metodología cuantitativa para evaluar la evolución del daño en un muro de mampostería mediante el seguimiento temporal de una fisura, caracterizada por tres variables geométricas: longitud horizontal L_x , longitud vertical L_y y abertura transversal L_z . Primero, se recopilaron mediciones anuales del periodo 2010–2023 a partir de inspección visual, registro fotográfico y referencias geométricas del recubrimiento. Posteriormente, los datos se organizaron como series temporales y se ajustaron con modelos de regresión cuadrática, adecuados para representar procesos de deterioro no lineal.



La forma general del modelo se muestra en la Ecuación 1:

$L(t) = at^2 + bt + c$	(1)
------------------------	-------

Donde L(t) representa la dimensión de la fisura en función del tiempo, (a) describe la aceleración del crecimiento, (b) la tendencia lineal y (c) la condición inicial. Para cada variable se utiliza la Ecuación 2:

$Lx(t) = a_x t^2 + b_x t + c_x$ $Ly(t) = a_y t^2 + b_y t + c_y$ $Lz(t) = a_z t^2 + b_z t + c_z$	(2)
---	-------

El ajuste se validó mediante el coeficiente de determinación utilizando la Ecuación 3:

$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}$	(3)
---	-------

donde y_i son los datos observados. \hat{y} los estimados. Finalmente, los resultados se compararon con criterios normativos de desempeño estructural para clasificar el daño en servicio, moderado o severo, permitiendo establecer un diagnóstico técnico y su tendencia evolutiva.

El Criterio 1:

Se fundamenta en la evaluación del estado físico actual del elemento. Las fisuras representan indicadores directos de alteraciones en el comportamiento mecánico del sistema estructural, ya que reflejan la redistribución interna de esfuerzos y la pérdida gradual de continuidad, rigidez y cohesión de los materiales. Por esta razón, el estudio de las características geométricas y la evolución de las fisuras permite identificar procesos de deterioro asociados a deformaciones, asentamientos diferenciales o incrementos en las sollicitaciones estructurales. Metodológicamente, la Tabla 3, presenta el Criterio 1, se basa en la evaluación de tres conceptos fundamentales en la ingeniería estructural: vulnerabilidad, capacidad y desempeño, (Cerón, 2025).



La Tabla 4, presenta el segundo criterio que corresponde al estudio físico de prospección, el cual tiene como objetivo interpretar el comportamiento estructural del muro a partir de los esfuerzos internos que actúan sobre el elemento. Para ello, se emplea una representación esquemática del muro mediante una matriz de retículas que permite analizar la distribución de esfuerzos cortantes, flectores y torsionales asociados al crecimiento de la fisura. A través de esta aproximación se identifican las zonas de concentración de esfuerzos y los posibles mecanismos de deformación que influyen en el desarrollo del daño. La integración de ambos criterios permite relacionar la geometría de la fisura con los mecanismos estructurales responsables de su crecimiento, proporcionando un marco metodológico para el diagnóstico del desempeño estructural del muro, (Cerón, 2025).

Tabla 3: Estudio físico actual (Criterio 1)

Estudio físico actual: en este criterio se destaca la presencia de daño en la zona de		
Criterio		Grado
1:	estudio, se cuestiona el pasado del origen del daño (desempeño) y él porque apareció (vulnerabilidad) y como se encuentra en su estado actual (Capacidad), se divide en tres niveles de estudio (Garatachia, 2013):	
	Vulnerabilidad: Se indica cuando existen características de disminución moderada de la resiliencia del funcionamiento de la estructura con la aparición de lo siguiente (Hurtado, 2008):	
	a) Disminución moderada del desempeño de los elementos estructurales ante solicitudes impuestas de la demanda funcional.	1-1-1
Nivel 1:	b) Participación moderada de desplazamientos con magnitud menor al límite de servicio.	1-1-2
	c) Disminución moderada de la consistencia de los materiales.	1-1-3
	d) Disminución moderada de la integridad estructural ante acciones de comportamientos mecánicos de respuesta.	1-1-4
	e) Disminución moderada de la resistencia ante incrementos de fuerzas externas.	1-1-5

	Capacidad: Se indica cuando existen características de disminución parcial de la resiliencia del funcionamiento de la estructura con la aparición de lo siguiente (Ahumada, 2010):	
Nivel 2:	a) Disminución parcial del desempeño de los elementos estructurales ante sollicitaciones impuestas de la demanda funcional.	1-2-1
	b) Participación parcial de desplazamientos con magnitud excesivos que alcancen el límite de servicio.	1-2-2
	c) Disminución parcial de la consistencia de los materiales.	1-2-3
	d) Disminución parcial de la integridad estructural ante acciones de comportamientos mecánicos de respuesta.	1-2-4
	e) Disminución moderada de la resistencia ante incrementos de fuerzas externas.	1-2-5
	Desempeño: Se indica cuando existen características de disminución severa de la resiliencia del funcionamiento de la estructura con la aparición de lo siguiente (Patiño, 2018):	
Nivel 3:	a) Disminución severa del desempeño de los elementos estructurales ante sollicitaciones impuestas de la demanda funcional.	1-3-1
	b) Participación severa de desplazamientos con magnitud excesivos que sobrepasen los valores del límite de servicio.	1-3-2
	c) Disminución severa de la consistencia de los materiales.	1-3-3
	d) Disminución severa de la integridad estructural ante acciones de comportamientos mecánicos de respuesta.	1-3-4
	e) Disminución severa de la resistencia ante incrementos de fuerzas externas.	1-3-5

El Criterio 2:

Se fundamenta en la evaluación prospectiva del comportamiento estructural del muro de mampostería a partir del análisis de los esfuerzos internos que influyen en el crecimiento de la fisura, (Cerón, 2026).



Las fisuras en estructuras de mampostería no sólo representan una manifestación visible del daño, sino también un indicador del estado de los esfuerzos mecánicos que actúan en el sistema estructural. Por ello, el análisis de los efectos de flexión, cortante y torsión permite comprender los mecanismos responsables de la propagación del daño y su posible evolución futura. Metodológicamente, este criterio se basa en la representación del muro mediante una matriz de retículas que facilita el estudio de la distribución de esfuerzos y deformaciones en diferentes zonas del elemento estructural. A través de este procedimiento se identifican concentraciones de esfuerzos que pueden provocar pérdida de cohesión en los materiales y crecimiento progresivo de la fisura. De esta manera, el criterio permite relacionar la geometría del daño con la respuesta mecánica del muro, proporcionando una base técnica para evaluar la capacidad estructural y anticipar posibles escenarios de deterioro, (Marella, 2015).

Tabla 4: Estudio físico de prospección (Criterio 2)

<p>Criterio 2:</p>	<p>Estudio físico de prospección: en este criterio se destaca la presencia de la intensidad y magnitud del daño en la zona de estudio (Capacidad), se cuestiona el presente y la probabilidad de crecimiento del daño (vulnerabilidad) y él porque estocásticamente se incrementa la magnitud por medio de la aparición de esfuerzos y deformaciones futuras (Desempeño), se divide en tres niveles de estudio, (CENAPRED, 2014).</p>	<p>Grado</p>
<p>Nivel 1:</p>	<p>Límite de capacidad: Se indica cuando existen características de disminución moderada de la resistencia de la estructura con la aparición de lo siguiente:</p>	
	<p>a) Disminución moderada de la resistencia a la flexión de los elementos estructurales ante sollicitaciones impuestas de la demanda funcional.</p>	<p>2-1-1</p>
	<p>b) Participación moderada de deformaciones con magnitud menor al límite de servicio.</p>	<p>2-1-2</p>
	<p>c) Disminución moderada de la resistencia al cortante de los materiales.</p>	<p>2-1-3</p>
	<p>d) Disminución moderada de la continuidad estructural ante acciones de comportamientos mecánicos de respuesta.</p>	<p>2-1-4</p>
	<p>e) Disminución moderada de la resistencia a la torsión ante incrementos de fuerzas externas.</p>	<p>2-1-5</p>



	Límite de desempeño: Se indica cuando existen características de disminución parcial de la resistencia de la estructura con la aparición de lo siguiente:	
	a) Disminución parcial de la resistencia a la flexión de los elementos estructurales ante solicitaciones impuestas de la demanda funcional.	2-2-1
Nivel 2:	b) Participación parcial de deformaciones con magnitud menor al límite de servicio.	2-2-2
	c) Disminución parcial de la resistencia al cortante de los materiales.	2-2-3
	d) Disminución parcial de la continuidad estructural ante acciones de comportamientos mecánicos de respuesta.	2-2-4
	e) Disminución parcial de la resistencia a la torsión ante incrementos de fuerzas externas. (Baños, 2013).	2-2-5
	Límite de demanda: Se indica cuando existen características de disminución severa de la resistencia de la estructura con la aparición de lo siguiente:	
	a) Disminución severa de la resistencia a la flexión de los elementos estructurales ante solicitaciones impuestas de la demanda funcional.	2-3-1
Nivel 3:	b) Participación severa de deformaciones con magnitud menor al límite de servicio.	2-3-2
	c) Disminución severa de la resistencia al cortante de los materiales.	2-3-3
	d) Disminución severa de la continuidad estructural ante acciones de comportamientos mecánicos de respuesta.	2-3-4
	e) Disminución severa de la resistencia a la torsión ante incrementos de fuerzas externas. (Ximena, 2009).	2-3-5

La metodología del estudio se basó en la identificación, medición y análisis del crecimiento de una fisura presente en un muro de mampostería con el objetivo de evaluar su comportamiento estructural a lo largo del tiempo. En una primera etapa se realizó la inspección visual de la zona de estudio para localizar la fisura y documentar sus características geométricas mediante registro fotográfico. Posteriormente se



midieron tres variables principales que describen la geometría del daño: longitud horizontal (L_x), longitud vertical (L_y) y apertura transversal (L_z).

Estas mediciones se realizaron utilizando referencias dimensionales del recubrimiento cerámico y elementos patrón que permitieron estimar las magnitudes del daño. En una segunda etapa se analizaron los mecanismos estructurales asociados al crecimiento de la fisura mediante la representación del muro en una matriz de retículas, lo que permitió estudiar la distribución de esfuerzos cortantes, flectores y torsionales. Finalmente, se construyeron series temporales con registros del periodo 2010–2023 para evaluar la evolución del daño y su posible relación con variables ambientales como lluvia y temperatura, (CENAPRED, 2016):

1. Determinación de la geometría de la fisura.

Se realizó la identificación visual de la fisura presente en el muro de mampostería mediante inspección directa en campo. Posteriormente se midieron las dimensiones geométricas principales de la discontinuidad estructural: longitud horizontal (L_x), longitud vertical (L_y) y apertura transversal (L_z), utilizando referencias geométricas del recubrimiento cerámico para establecer una escala dimensional aproximada.

2. Medición de la abertura de fisura L_z .

La abertura transversal de la fisura se determinó introduciendo un elemento patrón rígido de dimensiones conocidas (tarjeta plástica de 1 mm de espesor). Mediante esta comparación directa se identificó el espesor máximo de la abertura, permitiendo establecer cuantitativamente la magnitud del daño transversal en el material del muro.

3. Medición de la longitud horizontal L_x

La longitud horizontal de la fisura se determinó midiendo la extensión visible del daño a lo largo del eje horizontal del muro. Se utilizó como referencia la dimensión estándar de las piezas cerámicas del recubrimiento para establecer la escala. Posteriormente se midió la distancia total del trazo de la fisura.

4. Medición de la longitud vertical L_y

La longitud vertical de la fisura se determinó midiendo la altura total del trazo de la discontinuidad estructural desde su origen hasta su punto final visible. Se utilizó la modulación de las piezas cerámicas



como referencia dimensional, permitiendo estimar la propagación vertical asociada a esfuerzos cortantes o asentamientos diferenciales.

5. Determinación de zonas de daño estructural.

Se construyó un modelo esquemático del muro mediante una matriz de retículas formada por placas equivalentes. Cada celda representó una zona estructural del muro. A partir del análisis visual del daño y la distribución de esfuerzos se clasificaron las zonas en daño moderado, parcial o severo.

6. Análisis de esfuerzos cortantes en el muro

Se modeló el muro mediante un sistema de elementos estructurales equivalentes considerando continuidad en castillos y cadenas. Posteriormente se evaluó la distribución de esfuerzos cortantes mediante líneas nodales de esfuerzo. El análisis permitió identificar puntos de concentración de cortantes asociados al origen de la fisura.

7. Análisis de esfuerzos de flexión

Se evaluó el comportamiento flector del muro considerando las acciones verticales y las condiciones de confinamiento del sistema estructural. Mediante el modelo de retículas se identificaron las zonas con mayor concentración de momentos flectores, lo que permitió correlacionar el crecimiento horizontal de la fisura con efectos de flexión.

8. Análisis de esfuerzos torsionales

Se analizó la respuesta torsional del muro considerando irregularidades geométricas y redistribución de esfuerzos internos. Mediante el modelo estructural se identificaron zonas donde los esfuerzos torsionales generaban pérdida de cohesión entre materiales, produciendo la apertura transversal de la fisura representada por la variable L_z .

9. Construcción de la gráfica de geometría de la fisura vs lluvia

Se recopiló información histórica de precipitación en la zona de estudio para el periodo 2010–2023. Posteriormente se compararon estos datos con la evolución temporal de las variables geométricas L_x , L_y y L_z . Mediante análisis gráfico se evaluó la posible relación entre la variabilidad de lluvia y el crecimiento del daño.

10. Construcción de la gráfica de geometría de la fisura vs temperatura



Se obtuvieron registros climatológicos de temperatura promedio anual para el periodo analizado. Estos datos se compararon con las mediciones históricas de la fisura. El análisis permitió evaluar la influencia de los cambios térmicos en los procesos de deformación del muro y en la propagación progresiva del daño estructural(Turcios, 2020).

11. Construcción de la historia de crecimiento de la fisura

Se integraron las mediciones históricas de L_x , L_y y L_z registradas entre 2010 y 2023. Los datos se organizaron cronológicamente para construir series temporales del crecimiento del daño. Finalmente se representó gráficamente la evolución del deterioro estructural, permitiendo identificar tendencias progresivas y cambios en la velocidad de crecimiento, (Ceron, 2023).

RESULTADOS

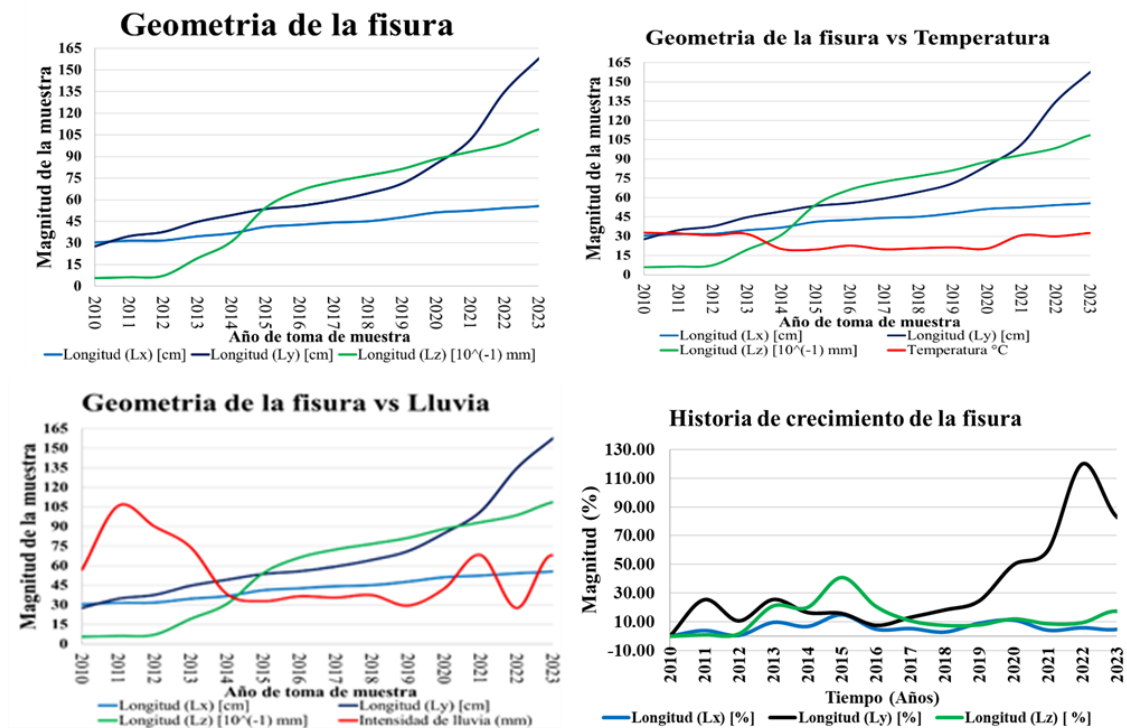
Se observó que la fisura es provocada por la existencia de acciones inevitables y se espera un desarrollo basado en el desplazamiento de esfuerzos internos, además, las partes del muro de mampostería han sido afectadas a tal grado que se presenta la ruptura de la cohesión de los materiales como se observa en la **Figura 2**. (DGNSEPEU, 2016).

Evolución temporal.

La **Figura 2**, presenta un conjunto de cuatro gráficas comparativas que ilustran el comportamiento y la evolución temporal de una fisura en un muro de mampostería a lo largo del periodo comprendido entre 2010 y 2023. Cada gráfica analiza la geometría del daño estructural mediante tres variables principales: longitud horizontal (L_x), longitud vertical (L_y) y abertura transversal de la fisura (L_z), representadas mediante diferentes colores para facilitar su interpretación, (Cerón, 2024c).



Figura 2: Gráficas comparativas que ilustran el comportamiento y la evolución temporal de una fisura



La primera gráfica, titulada “Geometría de la fisura”, muestra el crecimiento de las tres dimensiones del daño a lo largo del tiempo. En ella se observa que la longitud vertical Ly presenta el incremento más significativo, alcanzando valores cercanos a los 150–160 cm al final del periodo analizado. La longitud horizontal Lx muestra un crecimiento más moderado y progresivo, mientras que la abertura Lz también aumenta de forma considerable, especialmente a partir del año 2013, lo que sugiere un proceso acumulativo de deterioro estructural. La segunda gráfica, denominada “Geometría de la fisura vs Temperatura”, incorpora la variable climática de temperatura promedio anual, representada con una línea adicional. Esta comparación permite analizar la posible relación entre las variaciones térmicas y el crecimiento de la fisura. En la gráfica se observa que, aunque la temperatura presenta fluctuaciones moderadas a lo largo de los años, el crecimiento de las variables geométricas del daño mantiene una tendencia ascendente, lo que sugiere que los cambios térmicos pueden influir parcialmente en las deformaciones del muro, aunque no son el único factor determinante.

La tercera gráfica, titulada “Geometría de la fisura vs Lluvia”, analiza la relación entre la evolución del daño y la intensidad de la precipitación. En esta representación se observa que durante los primeros años se presentan valores altos de lluvia, seguidos por una disminución y posteriormente por nuevas

fluctuaciones, (Chapra, 2015). El crecimiento de la abertura L_z y de la longitud vertical L_y parece coincidir con algunos periodos de mayor precipitación, lo que podría indicar que la humedad o los cambios en las condiciones del suelo influyen en el comportamiento estructural del muro. Finalmente, la cuarta gráfica, denominada “Historia de crecimiento de la fisura”, sintetiza la evolución porcentual de las tres variables geométricas del daño. En esta gráfica se evidencia que el crecimiento más significativo corresponde nuevamente a la longitud vertical L_y , seguida por la abertura L_z , mientras que L_x mantiene un incremento relativamente menor. Esta representación confirma que el proceso de deterioro estructural presenta una tendencia progresiva y acumulativa a lo largo del tiempo, (Charlon, 2018).

Panel discretizado

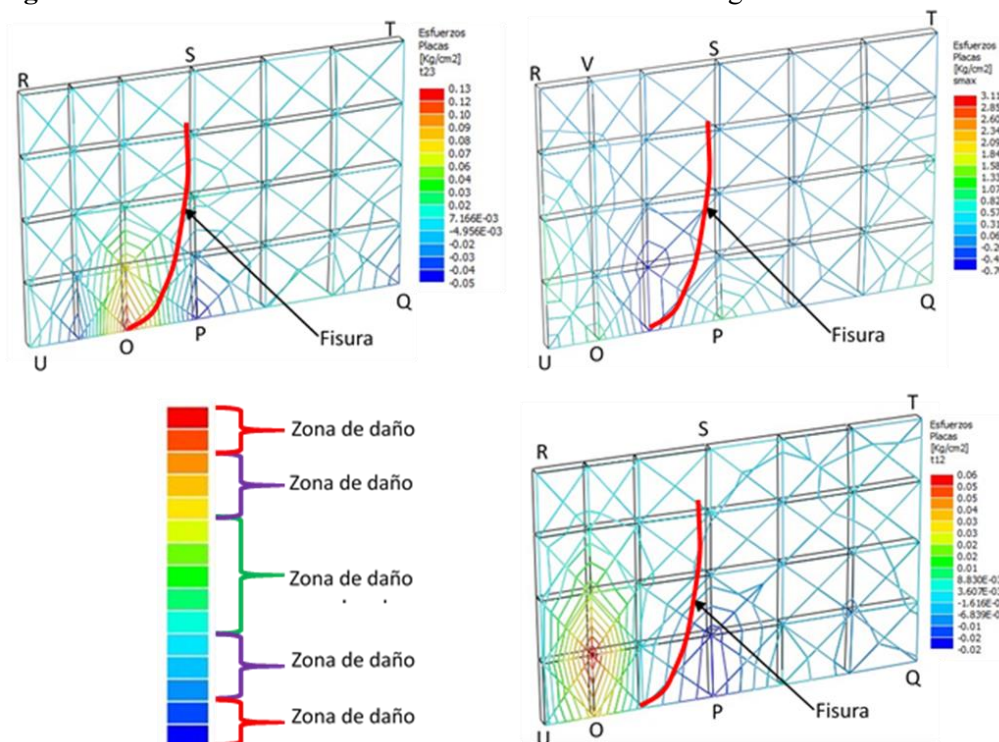
La **Figura 3**, presenta los resultados de un análisis estructural realizado mediante el método de los elementos finitos (MEF) aplicado a un panel discretizado con una malla de elementos triangulares. A partir de un modelo numérico, se definieron la geometría, las propiedades del material y las condiciones de carga y restricción, lo que permitió calcular la distribución de esfuerzos en la estructura.

La primera imagen corresponde al modelo con condiciones de carga y desplazamiento en el sistema, lo que permitió calcular el estado de esfuerzos en cada elemento de la malla. Los valores obtenidos se representan mediante una escala de colores, donde los tonos rojos y naranjas indican mayores valores de esfuerzo, mientras que los colores verdes y azules representan niveles menores o incluso compresivos. En la parte inferior izquierda del modelo se observa una zona de concentración de esfuerzos, identificada por colores cálidos. Estas concentraciones suelen producirse cerca de discontinuidades geométricas, puntos de aplicación de carga o zonas con restricciones estructurales. A partir de esta región se muestra una fisura representada por una línea roja curva, la cual indica la trayectoria probable de propagación del daño dentro del material. La trayectoria de la fisura se determina considerando el campo de tensiones principales calculado por el modelo. Generalmente, las grietas tienden a propagarse siguiendo la dirección donde la energía de deformación o las tensiones de tracción son mayores.

La primera imagen corresponde al modelo con condiciones de carga y desplazamiento en el sistema, lo que permitió calcular el estado de esfuerzos en cada elemento de la malla. Los valores obtenidos se

representan mediante una escala de colores, donde los tonos rojos y naranjas indican mayores valores de esfuerzo, mientras que los colores verdes y azules representan niveles menores o incluso compresivos. En la parte inferior izquierda del modelo se observa una zona de concentración de esfuerzos, identificada por colores cálidos. Estas concentraciones suelen producirse cerca de discontinuidades geométricas, puntos de aplicación de carga o zonas con restricciones estructurales. A partir de esta región se muestra una fisura representada por una línea roja curva, la cual indica la trayectoria probable de propagación del daño dentro del material. La trayectoria de la fisura se determina considerando el campo de tensiones principales calculado por el modelo. Generalmente, las grietas tienden a propagarse siguiendo la dirección donde la energía de deformación o las tensiones de tracción son mayores.

Figura 3: Panel discretizado con una malla de elementos triangulares



La segunda imagen muestra otro resultado del análisis estructural obtenido mediante simulación numérica utilizando elementos finitos, aplicado a una estructura discretizada en una malla triangular. En este caso se analiza nuevamente la distribución de esfuerzos en el panel, considerando posiblemente una condición de carga distinta, una modificación en las propiedades del material o un estado diferente de propagación de la grieta. El procedimiento de obtención de estos resultados comienza con la definición

de la geometría y generación de la malla, seguida por la asignación de propiedades del material como módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson. Posteriormente se aplican las cargas y restricciones necesarias para representar el comportamiento estructural del sistema real. El software de análisis calcula entonces los desplazamientos nodales y, a partir de ellos, determina los esfuerzos en cada elemento. Se observa nuevamente que la mayor concentración de esfuerzos se localiza en la zona inferior cercana al nodo O. Desde esta región se origina una fisura representada por una línea roja curva, cuya trayectoria está influenciada por la redistribución de esfuerzos en la estructura. También se aprecia una zona circular alrededor de la base de la fisura que indica el campo de influencia del frente de grieta, donde las tensiones y deformaciones presentan gradientes elevados característicos de los problemas de fractura.

La tercera imagen corresponde a la escala de colores utilizada para interpretar los resultados de esfuerzos obtenidos en el análisis numérico de las imágenes que componen la **Figura**. Esta barra de colores constituye una referencia fundamental en los gráficos de resultados de elementos finitos, ya que permite relacionar cada color con un valor específico de esfuerzo calculado en el modelo. La escala está organizada verticalmente y muestra una transición progresiva de colores que generalmente va desde rojo en la parte superior hasta azul en la parte inferior. En este tipo de representaciones, los colores rojos y naranjas indican los valores máximos de esfuerzo dentro del modelo, lo que suele corresponder a zonas críticas donde el material puede experimentar daño, deformaciones importantes o incluso fractura. Los colores intermedios, como amarillo y verde, representan niveles moderados de esfuerzo, mientras que los tonos azul claro y azul oscuro indican regiones con esfuerzos menores o incluso esfuerzos negativos asociados a compresión. Cada intervalo de color está vinculado a un rango numérico específico mostrado junto a la escala. Las marcas señaladas alrededor de la barra resaltan algunos rangos particulares de esfuerzo que pueden ser relevantes para el análisis estructural. Estas referencias ayudan a identificar rápidamente las zonas del modelo donde los valores de esfuerzo superan ciertos límites de diseño o se aproximan a las capacidades resistentes del material.

La cuarta imagen muestra otro resultado del análisis estructural mediante el método de los elementos finitos, donde se representa la distribución de esfuerzos en un panel estructural discretizado mediante una malla triangular. Este tipo de modelo se utiliza frecuentemente en estudios de mecánica de fractura,



con el objetivo de analizar cómo se inicia y propaga una grieta dentro de un material sometido a cargas. Para obtener esta imagen, el modelo numérico calcula primero los desplazamientos nodales generados por las cargas aplicadas. A partir de estos desplazamientos se determinan los campos de deformaciones y esfuerzos en cada elemento de la malla. Posteriormente, los resultados se representan mediante un mapa de colores que permite identificar fácilmente las zonas de mayor o menor intensidad de esfuerzo. Se observa una zona de alta concentración de tensiones cerca del punto O, representada por colores rojos y amarillos. Este tipo de concentración suele actuar como el punto de inicio de la grieta. Desde esta región se muestra una trayectoria de fisura marcada con una línea roja, que se propaga hacia el interior del panel siguiendo una dirección curva. Las líneas negras alrededor de la fisura delimitan una región donde se produce una redistribución significativa de esfuerzos, característica del campo cercano al frente de grieta. En estas zonas los gradientes de tensión son elevados y el comportamiento del material está fuertemente influenciado por los fenómenos de fractura.

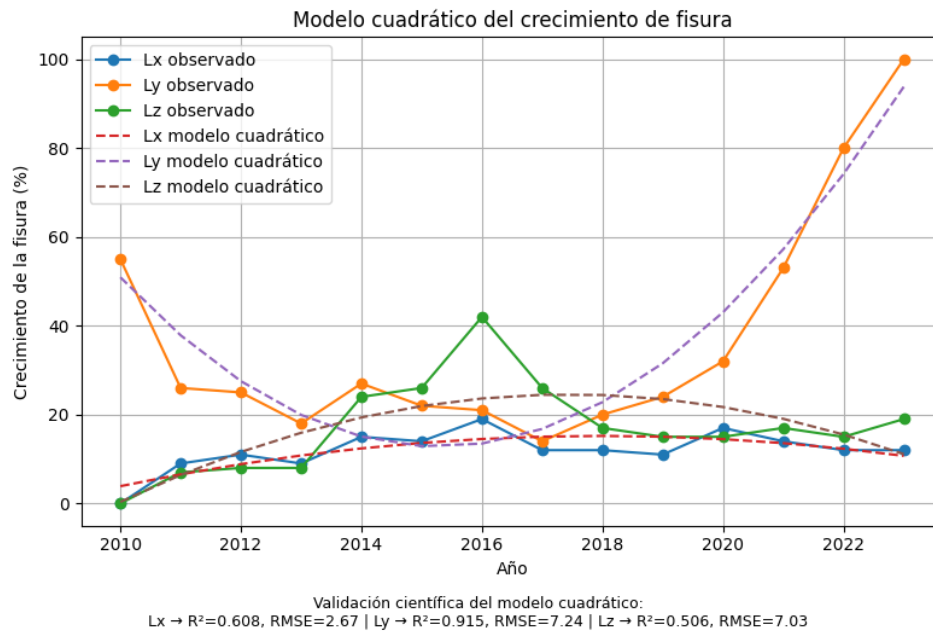
ANÁLISIS

La **Figura 4**, muestra la historia de la geometría de la fisura en la zona de estudio y las características climatológicas de lluvia en la ubicación de la construcción, el estudio muestra que los efectos de torsión crecieron en el año 2014 debido a las vastas lluvias del año 2010 al 2013.

Por consiguiente, la longitud “Lz” tuvo un incremento sustancial, por otro lado, se observa estabilidad en cuanto a la intensidad de lluvia en los años 2014 a 2019, sin embargo, en el año 2020 al 2023 hubo altas y bajas (Botero, 2002).



Figura 4: Panel discretizado con una malla de elementos triangulares



La imagen presenta un gráfico de series temporales titulado “Series digitalizadas: crecimiento vs tiempo”, en el que se analiza la evolución del crecimiento de una fisura estructural a lo largo del tiempo, desde el año 2010 hasta aproximadamente 2023. En el eje horizontal se representa el tiempo (años), mientras que en el eje vertical se muestra el crecimiento de la fisura expresado en porcentaje (%). El gráfico contiene tres curvas de colores (azul, verde y naranja), cada una correspondiente a una variable distinta asociada al comportamiento de la grieta en la estructura.

La línea azul (Lx) representa el crecimiento horizontal de la fisura, es decir, la propagación longitudinal de la grieta dentro del elemento estructural. Esta serie muestra valores relativamente bajos y estables durante todo el periodo analizado, con variaciones que oscilan aproximadamente entre 8 % y 18 %. Esto sugiere que la propagación longitudinal de la fisura ha sido moderada y relativamente controlada en comparación con las otras direcciones de crecimiento.

La línea verde (Ly) corresponde al crecimiento vertical de la fisura, asociado principalmente al incremento del daño estructural en sentido vertical. En esta serie se observa una tendencia más variable, con un aumento notable alrededor del año 2016, donde alcanza un valor cercano al 40 %. Posteriormente, los valores disminuyen y se estabilizan entre aproximadamente 15 % y 20 %, lo que indica que el daño vertical experimentó un episodio de crecimiento importante seguido de una etapa de estabilización.

Por otro lado, la línea naranja (Lz) representa la apertura de la fisura, es decir, la separación transversal de las caras de la grieta, generalmente asociada a la acción combinada de esfuerzos de tracción y deformación estructural. Esta serie muestra el comportamiento más crítico, especialmente a partir del año 2019, donde se observa un incremento acelerado que supera el 50 % y alcanza valores cercanos al 100 % hacia el final del periodo.

En la parte inferior del gráfico se incluyen criterios de evaluación estructural, donde se establecen rangos de referencia para interpretar el nivel de daño: entre 10 % y 15 % corresponde al límite de servicio, entre 15 % y 30 % indica daño moderado y valores mayores a 30 % representan daño severo. Estas referencias, basadas en CENAPRED (2018), FEMA 356 y ASCE/SEI 41-17, permiten contextualizar los resultados y evaluar el estado estructural asociado al crecimiento de la fisura.

La curva que muestra cuatro cambios de dirección en su pendiente es la curva de la longitud “Lz”, la primera es en el año 2010, la segunda en el año 2012, la tercera en el año 2014 y la cuarta en el año 2015, la curva de la longitud “Lx”, muestra una pendiente constante creciente y la curva de la longitud “Ly”, presenta dos cambios de dirección en su pendiente el primero en el año 2010 y el segundo en el año 2020 (CSN, 2016).

La **Figura 4**, muestra la historia de la geometría de la fisura en la zona de estudio y las características de cambio abrupto de temperatura en la ubicación de la construcción.

El estudio muestra que los efectos de flexión permanecen constantes con un incremento moderado, los efectos de corte crecen parcialmente (Ghasemi, 2021).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian que el crecimiento de la fisura en el muro de mampostería presenta un comportamiento progresivo y no lineal durante el periodo analizado (2010–2023). En términos cuantitativos, la longitud horizontal de la fisura (Lx) registró un incremento aproximado del 48.71 %, mientras que la longitud vertical (Ly) y la abertura transversal (Lz) presentaron aumentos más significativos de 84.57 % y 94.86 %, respectivamente. Estos valores indican que el proceso de deterioro estructural está dominado principalmente por la propagación vertical del daño y por el aumento de la apertura de la grieta, lo que sugiere la presencia de esfuerzos cortantes, flexionales y torsionales asociados a deformaciones diferenciales dentro del sistema estructural.



Este comportamiento coincide con lo reportado en la literatura internacional sobre patología estructural en mampostería. Diversos estudios experimentales y numéricos han señalado que las grietas verticales suelen estar relacionadas con asentamientos diferenciales en la cimentación o redistribuciones de carga en los elementos confinantes, mientras que el incremento en la abertura de la fisura está asociado con la pérdida progresiva de cohesión y resistencia a tracción en los materiales de mampostería. Investigaciones basadas en el método de los elementos finitos han demostrado que las concentraciones de tensiones cercanas a discontinuidades geométricas o a zonas de restricción estructural generan trayectorias de propagación de grietas similares a las observadas en este estudio, particularmente en muros sometidos a estados combinados de cortante y flexión.

Por otra parte, el análisis comparativo con variables ambientales sugiere que algunos incrementos en la abertura de la fisura coinciden con periodos de mayor precipitación. Este comportamiento podría indicar la influencia indirecta de la humedad del suelo en las condiciones de soporte del muro, fenómeno ampliamente documentado en estudios internacionales donde las variaciones de humedad pueden modificar la rigidez del suelo de cimentación y generar deformaciones diferenciales en estructuras de mampostería.

A partir del análisis integral realizado, el diagnóstico estructural se establece mediante la aplicación de dos criterios de evaluación. De acuerdo con el criterio 1 (estudio físico actual), el daño se clasifica como grado 1-2-5, lo cual indica una disminución parcial de la resiliencia estructural y una afectación moderada de la resistencia del sistema, reflejada en la presencia de fisuración visible y en la reducción de la integridad mecánica del muro. Por su parte, el criterio 2 (estudio físico de prospección) corresponde al grado 2-2-3, lo que implica una disminución parcial de la resistencia al cortante y una probabilidad moderada de crecimiento del daño estructural debido a la interacción de esfuerzos internos y deformaciones acumulativas.

El fundamento de ambos criterios se basa en la evaluación simultánea de vulnerabilidad, capacidad y desempeño estructural, así como en el análisis de los límites de capacidad, desempeño y demanda del sistema estructural. En conjunto, los resultados indican que el muro presenta un estado de daño moderado con tendencia evolutiva, lo que resalta la importancia de implementar estrategias de



monitoreo estructural y mantenimiento preventivo para evitar la progresión hacia estados de daño más severos.

DIAGNOSTICO

Diagnóstico estructural basado en los criterios de evaluación

El diagnóstico estructural del muro de mampostería se establece a partir de la aplicación de dos criterios complementarios de evaluación: el estudio físico actual del daño (criterio 1) y el estudio físico de prospección estructural (criterio 2). La integración de ambos enfoques permite analizar tanto el estado presente del elemento estructural como la posible evolución del deterioro en función de los esfuerzos internos que actúan sobre el sistema.

De acuerdo con el criterio 1, correspondiente al estudio físico actual, el daño observado en el muro se clasifica como grado 1-2-5. Este nivel indica la presencia de una disminución parcial de la resiliencia estructural, evidenciada por la aparición de fisuras visibles y por la pérdida gradual de cohesión entre los materiales que conforman la mampostería. La propagación de la fisura, caracterizada por el incremento de sus dimensiones geométricas, refleja una alteración moderada del desempeño estructural frente a las solicitaciones impuestas. En este contexto, la longitud horizontal (L_x), la longitud vertical (L_y) y la abertura transversal (L_z) constituyen indicadores directos del deterioro progresivo del sistema, sugiriendo una reducción parcial de la resistencia y de la integridad mecánica del muro.

Por otra parte, el criterio 2, relacionado con el estudio físico de prospección estructural, clasifica el daño como grado 2-2-3, lo cual indica una disminución parcial de la resistencia estructural ante esfuerzos cortantes. Este resultado sugiere que el crecimiento de la fisura está influenciado por la redistribución de esfuerzos internos dentro del muro, particularmente aquellos asociados a solicitaciones de cortante y flexión. El análisis de la distribución de esfuerzos mediante el modelo estructural discretizado permite identificar zonas de concentración de tensiones que favorecen la propagación del daño a lo largo del tiempo.

La interpretación conjunta de ambos criterios permite establecer que el muro presenta un estado de daño moderado con tendencia evolutiva, en el cual las condiciones actuales no representan un colapso inmediato, pero sí evidencian una reducción progresiva de la capacidad resistente del sistema estructural. En consecuencia, el diagnóstico sugiere la necesidad de implementar estrategias de monitoreo



estructural, mantenimiento correctivo y medidas preventivas de rehabilitación, con el fin de evitar que el deterioro evolucione hacia estados de daño severo que comprometan la seguridad y funcionalidad de la edificación.

CONCLUSIONES

El análisis realizado permitió evaluar el comportamiento estructural de un muro de mampostería mediante el estudio de la evolución geométrica de una fisura durante el periodo 2010–2023. A partir de la integración de mediciones geométricas, análisis estructural y evaluación normativa, se identificó que el deterioro del muro presenta un comportamiento progresivo y acumulativo, asociado a la redistribución de esfuerzos internos y a la pérdida gradual de cohesión en los materiales.

Los resultados cuantitativos muestran que la longitud horizontal de la fisura (L_x) registró un incremento aproximado de 48.71 %, mientras que la longitud vertical (L_y) y la abertura transversal (L_z) presentaron incrementos de 84.57 % y 94.86 %, respectivamente. Estos valores indican que el mecanismo dominante de deterioro está asociado principalmente al crecimiento vertical y a la apertura de la fisura, lo cual sugiere la influencia de esfuerzos cortantes, flexionales y torsionales dentro del sistema estructural.

El diagnóstico estructural obtenido mediante la aplicación de los dos criterios de evaluación permitió clasificar el daño como grado 1-2-5 en el criterio 1 y grado 2-2-3 en el criterio 2, lo que indica una disminución parcial de la capacidad resistente del muro y una afectación moderada de su integridad estructural. Este resultado sugiere que, aunque la estructura no presenta condiciones inmediatas de colapso, existe un proceso de deterioro progresivo que puede comprometer su desempeño a largo plazo si no se implementan medidas de control y mantenimiento.

Entre las principales ventajas de la metodología aplicada destacan las siguientes:

1. Permite diagnosticar el estado estructural de muros de mampostería mediante variables geométricas medibles, facilitando la identificación temprana de procesos de deterioro.
2. Integra criterios físicos, mecánicos y estadísticos, lo que proporciona una evaluación estructural más completa del comportamiento del sistema.
3. Permite relacionar la evolución del daño con factores estructurales y ambientales, lo cual contribuye a comprender mejor los mecanismos que influyen en la propagación de fisuras.

4. Proporciona una herramienta práctica para la evaluación del desempeño estructural en edificaciones existentes, lo que puede apoyar la toma de decisiones en procesos de mantenimiento preventivo y rehabilitación estructural.

En conjunto, el estudio demuestra que el monitoreo sistemático del crecimiento de fisuras constituye un recurso eficaz para evaluar la vulnerabilidad estructural y anticipar posibles escenarios de deterioro en construcciones de mampostería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Botero, L. (2002). Análisis de rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción.

REVISTA Universidad EAFIT, 128, 9–21. <https://www.redalyc.org/pdf/215/21512802.pdf>

Carrión, J. (2001). Evaluación y detección de daño en estructuras utilizando un método inverso por sub-

dominios. *Publicación Técnica No. 166 Sanfandila, Qro, 2001, 166, 52.*

<https://doi.org/https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt166.pdf>

CENAPRED. (2014). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México.*

CENAPRED. (2016). *Evaluación de la seguridad estructural de edificios.*

Ceron. (2023). Sectorización de una red de agua potable utilizando el método de elemento finito. *Pädi*

Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, 11(21), 142–150.

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

Cerón. (2022). 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. (2024a). Estudio del concreto simple con agregado de caucho aplicando el MEF Study of simple

concrete with rubber aggregate applying the FEM. *Padi, UAEH*, 12, 78–87.

Cerón. (2024b). Nivel de evaluación del Mecanismo de falla en una construcción de 20 años de edad.

Padi, 11(22), 129–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.29057/icbi.v11i22.11067>

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. (2024c). *Structural Damping in a Pedestrian Footbridge Under Controlled Traffic Density.*

13(07). <https://doi.org/DOI: 10.13140/RG.2.2.30302.45126>



- Cerón, J. (2025). Análisis de Daños Sísmicos en Ciudades de México (2014 – 2024). *LATAM*.
- Cerón, J. (2026). Índice de integridad del suelo en un muro de contención con gaviones. *Ideas en ciencias de la ingeniería*, 39–58.
- Chapra, S. (2015). Metodos numericos para ingenieros. En *Proceedings of the National Academy of Sciences* (Vol. 3, Número 1).
<http://dx.doi.org/10.1016/j.bpj.2015.06.056><https://academic.oup.com/bioinformatics/article-abstract/34/13/2201/4852827><https://doi.org/10.1016/j.str.2013.02.005>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.str.2013.02.005>
<https://doi.org/10.1016/j.str.2013.02.005>
- Charlon, Y. (2018). Design and evaluation of a smart insole: Application for continuous monitoring of frail people at home. *Expert Systems with Applications*, Vol 95(Issue 1), 57–71.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.11.024>
- CSN, U. (2016). Fórmulas para estimar la magnitud de un sismo 20. *Centro Sismologico Nacional, Universidad de Chile*, 29784000. <https://www.csn.uchile.cl/formulas-para-estimar-la-magnitud/>
- DGNSEPEU. (2016). Norma Mexicana NMX-R-079-SCFI-2015. Escuelas-Seguridad Estructural de la Infraestructura Física Educativa-Requisitos. *Diario Oficial de la Federación*, 241.
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/104639/nmx-r-079-scfi-2015.pdf>
- Escamilla, J. (2018). Caracterización Geoestadística de una Probable Intrusión Magmática Activa , a Partir de la Sismicidad Reciente en el Estado de Hidalgo. *Boletin científico del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería (ICBI)*, 11(11), 43–47.
<https://doi.org/https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/7633/>
- García, J. R. (2007). *REHABILITACION SISMICA DE EDIFICACIONES DE MAMPOSTERIA PARA VIVIENDA*. 443, 1–32.
- Ghasemi, A. (2021). Wellington building inventory : rapid earthquake response framework. *NZSEE, New Zealand Society*, 8. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/10092/101528>
- ISCDF. (2018). Estadística, análisis y acciones resilientes del Sismo del 19 de septiembre de 2017. *ISCDF CDMX*, 42.



<https://doi.org/https://www.ern.com.mx/web/sites/default/files/convencion2018/pdf/04.pdf>

- Marella, M. (2015). Fisuras en la mampostería de ladrillos por movimientos reológicos de las estructuras de hormigón. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, ISSN: 1510-7450, 113–116. https://www.mendeley.com/catalogue/e562a02b-e55b-34e0-a1f5-80ce8a20fac8/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Bba17b3f9-48ee-4a0f-8c29-b3c9367bc0d9%7D
- Marroquin, R. (2017). Reporte estructural Unidad Cuajimalpa. *UAM, Unidad Cuajimalpa*, 6. <https://doi.org/https://www.uam.mx/sismo/dictamenes/docs/Cuajimalpa/Reporte-estructural-Unidad-Cuajimalpa.pdf>
- Morejón, G. (2017). Evaluación de la Seguridad Estructural de Edificaciones Posterremotos. *Ciencia en su PC*, 4, 78–90. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181353794006>
- Turcios, A. (2020). *Comparación de diseño estructural para cimentaciones superficiales utilizando el método rígido convencional y el método Winkler por elementos finitos Abstract Resumen*. 114. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12457/TFG_David_Turcios_Medina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

