

Criterios de diagnóstico de daño en estructuras de acero Diagnostic criteria for damage in steel structures

Jesús E. Cerón-Carballo ^{a,*}, Cutberto Rodríguez-Álvarez ^a, Eber Pérez-Isidro ^a, Humberto I. Navarro-Gómez ^a
Gilberto Ramos-Torres ^b, Carlos A. Bigurra-Alzati ^c

^a Ingeniería Civil Forense, Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.

^b Departamento de Ingeniería Civil y Minas, Facultad Interdisciplinaria de Ingeniería, Universidad del Estado de Sonora, Sonora, México.

^c Configuraciones espaciales en el habitar, Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.

Resumen

En este documento se elabora el diagnóstico para conocer y establecer la evidencia como prueba admitida en una zona de daño, se establecen cinco pruebas indudables por medio de la aplicación de dos criterios del estado actual y prospección para establecer una base de datos de la vulnerabilidad, capacidad y desempeño. Se analizan las tendencias de afectación del daño para determinar el origen del mecanismo de afectación. Esta investigación tiene por objetivo realizar la evaluación por medio de un instrumento de valoración basado en los límites de resistencia aplicado a cinco elementos estructurales existentes en una edificación de uso educativo ubicada en Tenango de Doria en el Estado de Hidalgo, se estudió la geometría del daño mediante un procedimiento de control de deformaciones con la finalidad de la conservación de la estructura civil, se observó que dos de los cinco elementos estructurales muestran deformación severa y disminución de la resistencia a la flexión.

Palabras Clave: Diagnóstico, Capacidad, Desempeño, Demanda, Vulnerabilidad, Armadura, Perfil estructural.

Abstract

In this document a diagnosis is elaborated to know and establish the evidence as admitted proof in a damage zone, five undoubted proofs are established through the application of two criteria of the current state and prospection to establish a data base of vulnerability, capacity and performance. Damage affectation trends are analyzed to determine the origin of the affectation mechanism. The objective of this research is to carry out the evaluation by means of an assessment instrument based on resistance limits applied to five existing structural elements in a building for educational use located in Tenango de Doria in the State of Hidalgo, the geometry of the damage was studied by means of a deformation control procedure with the purpose of preserving the civil structure, it was observed that two of the five structural elements show severe deformation and a decrease in flexural.

Keywords: Diagnosis, Capacity, Performance, Demand, Vulnerability, Armor, Structural profile.

1. Introducción

El caso de estudio se centra en una construcción destinada al uso escolar, específicamente en una edificación con elementos de soporte de acero estructural, ubicado en la localidad conocida, Municipio de Tenango de Doria en el Estado de Hidalgo (SEGOB_MR, 2006).

En los años '80s, y '90s los procesos constructivos fueron sustancialmente similares a los de la actualidad y los procedimientos para fabricar los materiales son similares a los de la época actual, sin embargo, las estructuras no son eternas, en consecuencia, los materiales a través del tiempo se

degeneran por la intemperización, por falta de mantenimiento y por falta de procesos de conservación. En este trabajo de investigación la evaluación consiste en determinar las afectaciones en función del daño presente en una zona de estudio como se determina en el documento del (CENAPRED, 2018).

Las construcciones existentes exigen una revisión estructural periódica con la finalidad de obtener resultados satisfactorios de seguridad.

En este documento, se presenta la valoración de los mecanismos resistentes, además, se analizan en forma numérica y se realiza un levantamiento sistémico de tipo

*Autor para la correspondencia: jesus_ceronc@uaeh.edu.mx.

Correo electrónico: jesus_ceronc@uaeh.edu.mx (Jesús Emmanuel Cerón-Carballo), profe_7479@uaeh.edu.mx (Cutberto Rodríguez-Álvarez), eber_perez@uaeh.edu.mx, (Eber Pérez-Isidro), humberto_navarro@uaeh.edu.mx, (Humberto Iván Navarro-Gómez), gilberto.ramos@unison.mx, (Gilberto Ramos-Torres), carlos_bigurra@uaeh.edu.mx, (Carlos Alfredo Bigurra-Alzati).

estructural, en donde se plasma las características físicas encontradas en sitio para conocer geometrías y dimensiones de los elementos que componen la estructura de soporte.

La revisión estructural en la actualidad es una práctica certera para identificar daño en las obras civiles construidas en el siglo pasado y en el presente, los métodos de verificación son indispensables para prevenir riesgos o mitigarlos, la prevención es una herramienta certera y su aplicación ofrece las medidas necesarias para evitar que un evento meteorológico o antropogénico se convierta en un desastre.

1.1. Elemento estructural

Los elementos estructurales de una construcción nueva o existente se colocan estratégicamente para servir de soporte, el acomodo de ellos se llama estructuración, estos elementos pueden construirse de concreto o de acero, la constitución de un elemento estructural la define el objetivo de su diseño, la vida útil de estos elementos tiene limitaciones de acuerdo a su desempeño y demanda estructural, son los responsables de la integridad estructural y física de la estructura.

Un elemento estructural debe tener un buen comportamiento ante las cargas a las que está sometido, se pueden clasificar en elementos lineales, bidimensionales y tridimensionales.

Elementos lineales: son prismas que están sometidos a un estado de tensión plana, es decir, resisten los esfuerzos tensionales importantes en la dirección de su eje, sea recto o curvo. Los elementos más comunes dentro de esta característica son las vigas o columnas, estos a su vez forman marcos en el plano.

Elementos bidimensionales: Son elementos con un espesor muy pequeño con respecto a su largo y a su ancho, se aproximan a una superficie. Los elementos más comunes son las losas.

Elementos tridimensionales: presenta estado de tensión biaxial o triaxial, y no suele predominar una dirección sobre las otras. Nos referimos a las parrillas formadas por vigas o marcos espaciales formados por armaduras.

1.2. Levantamiento estructural

Un levantamiento estructural consiste en una investigación en una obra civil existente y su conclusión muestra una zona de estudio delimitada por aquellos elementos estructurales con hallazgos que representan un riesgo para la salud o para la integridad física de los ocupantes, este levantamiento está formado prácticamente por tres partes:

- I. La primera parte tiene la finalidad de obtener el conocimiento detallado de las características físicas de los elementos estructurales que componen un inmueble, como son dimensiones, geometrías, calibres y formas.
- II. La segunda parte tiene la finalidad de definir el estado de conservación, con detalles tan relevantes como las características de los materiales, el acoplamiento estructural, como son cambio de geometría, fisuramiento, rupturas y alabeos.
- III. La tercera parte sirve para identificar los posibles patrones de deterioro que presenta la edificación, como son los daños repetitivos, deformaciones excesivas y fragmentaciones consecutivas.

1.3. Diagnóstico

El diagnóstico consiste básicamente en la elaboración de un procedimiento para conocer y establecer de manera clara la evidencia en una zona de estudio. se muestran los hallazgos notorios que establecen el punto de partida de un análisis y la posibilidad de realizar ajustes para una rehabilitación, reparación de daños o reconstrucción de una parte de la construcción.

1.4. Evaluación estructural

La evaluación de un sistema estructural representa la forma más fácil de identificar un daño, consiste en la aplicación del conocimiento adquirido en la práctica del diseño estructural en gabinete y llevarlo al campo de aplicación por medio de un levantamiento estructural, en consecuencia, la inspección de los elementos estructurales es diagnosticados bajo las condiciones de capacidad, desempeño y resistencia.

Se consideró como capacidad estructural a la cualidad que presenta la construcción para soportar todo estado límite de servicio o situación que corresponda a soportar la carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes, además, que los esfuerzos presentes en la construcción no rebasen los niveles de deformación reglamentarios, que su resistencia sea adecuada en un conjunto de condiciones, cualidades o aptitudes, que permiten el desarrollo de su utilización.

Cuando las condiciones físicas son alteradas por algún fenómeno amenazante y sobrepasan el límite de servicio se considera que la edificación llegó a su límite de capacidad estructural, si y solo si, su estructura tiene presencia de límite de falla.

Se consideró como estado límite de falla cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga, es por ello que en ningún momento de su vida remanente la edificación debe cambiar el uso o destino de piso actual.

Se consideró al desempeño estructural de una construcción como la cualidad que presenta la construcción planeada en el diseño estructural para soportar todo estado límite de servicio o situación que corresponda a soportar la carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes, los esfuerzos presentes en la construcción no rebasaran los niveles de deformación y su resistencia debe ser adecuada, su desempeño será favorable en correspondencia directa a la ductilidad de los materiales y a los procedimientos constructivos empleados.

El límite del desempeño de la construcción es análogo al límite de falla, es decir, cuando una construcción ha alcanzado el límite de falla, se debe reconstruir, reparar o rehabilitar para que su desempeño es óptimo.

Se considera la rehabilitación del desempeño estructural de una construcción como la intervención superficial directa al daño físico por medio de un procedimiento de arreglo práctico con materiales de calidad óptima y mano de obra especializada con supervisión menor.

Se considera la reparación del desempeño estructural de una construcción como la intervención superficial e intermedia directa de los elementos estructurales con un daño físico, por medio de un procedimiento tipo malla de contención con un

arreglo practico con materiales de calidad óptima y mano de obra especializada con supervisión intermedia profesional.

Se considera la reconstrucción del desempeño estructural de una edificación como la intervención profunda directa de los elementos estructurales con un daño físico inminente, por medio de un procedimiento tipo red de contención con un arreglo practico de adición de elementos de soporte con materiales de calidad óptima y mano de obra especializada, posterior a la verificación de un análisis numérico eficaz y con supervisión permanente profesional (J. Carrión, 2001).

La valoración de los mecanismos resistentes en este momento se realiza visual y numéricamente, además, se aplica el método de control basado en criterios de diagnóstico, para detectar las características físicas existentes, sin embargo, se observa la aparición de deformaciones en las armaduras.

La edificación existente se asume que cuenta con un sistema estructural que permite el flujo de las fuerzas que generan las distintas acciones de diseño, además, dichas fuerzas son transmitidas de manera continua hasta la cimentación.

La fase de emergencia se define como la aplicación de comportamientos que denotan algún riesgo debido a la presencia de un agente perturbador, normalmente se caracteriza por tres niveles; prealerta, alerta y alarma y se clasifican de acuerdo a la evolución del riesgo (ISCDF, 2018).

1.5. Zona de estudio

El caso de estudio se centra en una construcción destinada al uso educacional, específicamente se presenta el diagnostico posterior al levantamiento estructural encontrando hallazgos importantes en dos armaduras conectadas entre sí, apoyadas lateralmente, además, se presenta la revisión en los elementos estructurales aledaños como son dos vigas de acero y las dos columnas de soporte, utilizando el criterio de (Escamilla, 2018).

La zona de estudio considerada para diagnosticarse se ubica en la parte central y está compuesta por elementos de soporte tipo armadura apoyados lateralmente, es decir, las cargas impuestas sobre dicha armadura someten a la estructura a una carga permanente y uniformemente repartida como se observa en la Figura 1 (Marroquin, 2017).



Figura 1: Representación del diagnóstico de la armadura
Fuente: Elaboración propia [2024].

Este documento presenta el estudio de un bien inmueble existente con una construcción en donde el análisis se enfoca esencialmente en los hallazgos de daño, además, se estudia los elementos de soporte como se observa en la Figura 2.



Figura 2: Representación del diagnóstico de la columna de acero.
Fuente: Elaboración propia [2024].

2. Métodos y materiales

La metodología planteada en este documento tiene la finalidad de elaborar una evaluación diagnostica del daño encontrado, en consecuencia, se aplica una revisión de tipo estructural considerando tres etapas de desarrollo, las cuales son:

1. Identificar la evidencia de daño asignando una clave ordenada alfabéticamente, anteponiendo la palabra “Prueba”, de los elementos estructurales diagnosticados.
2. Identificar los parámetros identificando los límites del levantamiento estructural con la finalidad de desarrollar un diagnostico incorporando criterios de la evaluación estructural planteada.
3. Aplicar criterios con niveles de evaluación de acuerdo al diagnóstico y la interpretación del levantamiento estructural.

El modelado se realizó a partir de una revisión con el método análisis del sistema de soporte, para ello se utilizó la herramienta de cómputo Conect Bentley-20.

Los elementos estructurales se analizaron y diseñaron conforme a lo establecido en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño en Estructuras de concreto y acero, Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y el Manual de Obras Civiles de la CFE vigente a 2024 para el diseño por viento y sismo. Se valoran tanto los mecanismos resistentes, así como las características de deformación, secciones, espesores y recomendaciones de construcción.

El objetivo de este documento sirve para dar certeza que la edificación cuenta con un sistema estructural que permita el flujo adecuado de las fuerzas que generan las distintas acciones sobre las construcciones y para que dichas fuerzas sean transmitidas de manera continua y eficiente hasta la cimentación.

Las armaduras a través de la historia son elementos de soporte sometidos a cargas de tipo puntuales, por consiguiente, la literatura muestra efectos internos llamados esfuerzos axiales de compresión y de tensión en los elementos barra que forman dicha armadura, por otro lado, las cargas puntuales por lo regular y prácticamente normal serán las que se ubican en

los nodos de dicha estructura, sin embargo, el caso de estudio es significativo porque presenta en particular una oportunidad de análisis para identificar los criterios de daño presentes y la justificación principal de este documento es mostrar la capacidad de reacción disminuida.

2.1. Criterios de evaluación

Está formado por criterios específicos relacionados con el hallazgo encontrado, en este documento se estudian dos tipos, Estudio físico actual y estudio físico de prospección, cada uno con tres niveles de observación de daño (Marella, 2017).

Criterio 1:

Estudio físico actual: en este criterio se destaca la presencia de daño en la zona de estudio, se cuestiona el pasado del origen del daño (desempeño) y él porque apareció y como se encuentra en su estado actual, se divide en tres niveles de estudio (Garatachia, 2013):

Nivel 1:

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):

Tabla 1: Criterios de Vulnerabilidad
Fuente: Elaboración propia [2024]

Grado	Descripción
1	Desplazamientos con magnitud mínima
2	Elementos estructurales sin deformación integral
3	Elementos estructurales sin desplazamientos

Nivel 2:

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):

Tabla 2: Criterios de Capacidad
Fuente: Elaboración propia [2024]

Grado	Descripción
1	Desplazamientos con magnitud cercana al límite de servicio
2	Elementos estructurales con deformación parcial mínima
3	Elementos estructurales con desplazamientos mínimos

Nivel 3:

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):

Tabla 3: Criterios de Desempeño
Fuente: Elaboración propia [2024]

Grado	Descripción
1	Desplazamientos con magnitud severa superior al límite de servicio
2	Elementos estructurales con deformación severa parcial o total
3	Elementos estructurales con desplazamientos o deslizamientos severos

Criterio 2:

Estudio físico de prospección: en este criterio se destaca la presencia de la intensidad y magnitud del daño en la zona de estudio, se cuestiona el presente y la probabilidad de crecimiento del daño y él porque estocásticamente se incrementa la magnitud por medio de la aparición de esfuerzos y deformaciones futuras, se divide en tres niveles de estudio (DGNSEPEU, 2016):

Nivel 1:

Límite de capacidad: Se indica cuando existen características de disminución moderada de la resistencia de la estructura con la aparición de lo siguiente (Garatachia, 2013):

Tabla 4: Criterios de Límite de capacidad
Fuente: Elaboración propia [2024]

Grado	Descripción
1	Disminución moderada de la resistencia a la flexión de los elementos estructurales ante solicitaciones impuestas de la demanda funcional
2	Disminución moderada de la resistencia al cortante de los materiales.
3	Disminución moderada de la resistencia a la torsión ante incrementos de fuerzas externas

Nivel 2:

Límite de desempeño: Se indica cuando existen características de disminución parcial de la resistencia de la estructura con la aparición de lo siguiente (ERN, 2017):

Tabla 5: Criterios de Límite de desempeño
Fuente: Elaboración propia [2024]

Grado	Descripción
1	Disminución parcial de la resistencia a la flexión de los elementos estructurales ante solicitaciones impuestas de la demanda funcional

2	Disminución parcial de la resistencia al cortante de los materiales.
3	Disminución parcial de la resistencia a la torsión ante incrementos de fuerzas externas

Nivel 3:

Límite de demanda: Se indica cuando existen características de disminución severa de la resistencia de la estructura con la aparición de lo siguiente (SSN_UNAM, 2017):

Tabla 6: Criterios de Límite de demanda
Fuente: Elaboración propia [2024]

Grado	Descripción
1	Disminución severa de la resistencia a la flexión de los elementos estructurales ante solicitaciones impuestas de la demanda funcional
2	Disminución severa de la resistencia al cortante de los materiales.
3	Disminución severa de la resistencia a la torsión ante incrementos de fuerzas externas

Las fuerzas y momentos internos se disipan dividiendo la estructura en marcos ortogonales y en base al comportamiento elástico.

Se tomó en cuenta la variación del momento de inercia a lo largo de los elementos de unión y conexión, los efectos de continuidad por carga vertical, en cada dirección se visualizó que las cargas totales que actúan, cumplieran con los requisitos de continuidad estructural, por consiguiente, se considera la conexión de franjas laterales, franjas intermedias y franjas centrales aceptables (Baños, 2013).

3. Resultados

Se observó que en cada una de las pruebas realizadas se encontraron hallazgos diferentes y la existencia de acciones inevitables y se espera una recuperación de la integridad estructural con un desarrollo basado en el desplazamiento de esfuerzos internos, (DGNSEPEU, 2016).

3.1. Prueba “A”

La Tabla 7 muestra la zona de inspección de la prueba “A”, además, muestra los datos de la inspección realizada a la Armadura denominada AR-01 (García, 2007).

Tabla 7: Datos de la inspección en la Prueba “A”
Fuente: Elaboración propia [2024]

<i>Diagnostico estructural</i>	<i>Dictamen Estructural de construcción:</i>	<i>Prueba No.</i>
	<i>Escuela</i>	<i>“A”</i>
<i>Inspección</i>	Dirección de la obra:	Fecha de elaboración:
	Mpio. De Tenango De Doria Hidalgo	22-jun-24

<i>Ubicación de la prueba:</i>	Zona de Impacto Visual:	Edad de la construcción:
<i>Corte cuerda inferior: CI-01</i>	Armadura: AR - 01	más de 10 años

La Figura 3 presenta la historia de la evolución del daño en la armadura AR-1, se observa un desarrollo creciente, en este documento se mide la magnitud de la revisión por pandeo de las características físicas, las cuales denotan la geometría del daño mayor a 10 centímetros de pandeo longitudinal (Colombiana, 2013).

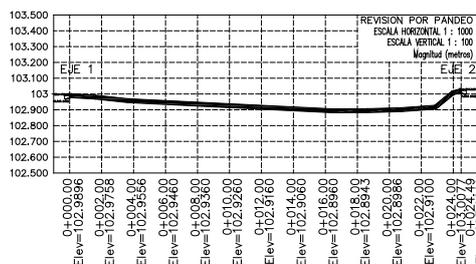


Figura 3: Revisión por pandeo Prueba “A”
Fuente: Elaboración propia [2024].

3.2. Prueba “B”

La Tabla 8 muestra la zona de inspección de la prueba “B”, además, muestra los datos de la inspección realizada a la Armadura denominada AR-02 (García, 2007).

Tabla 8: Datos de la inspección en la Prueba “B”
Fuente: Elaboración propia [2024]

<i>Diagnostico estructural</i>	<i>Dictamen Estructural de construcción:</i>	<i>Prueba No.</i>
	<i>Escuela</i>	<i>“B”</i>
<i>Inspección</i>	Dirección de la obra:	Fecha de elaboración:
	Mpio. De Tenango De Doria Hidalgo	22-jun-24
<i>Ubicación de la prueba:</i>	Zona de Impacto Visual:	Edad de la construcción:
<i>Corte cuerda inferior: CI-02</i>	Armadura: AR - 02	más de 10 años

La Figura 4 presenta la historia de la evolución del daño en la armadura AR-2, se observa un desarrollo creciente, en este documento se mide la magnitud de la revisión por pandeo de las características físicas, las cuales denotan la geometría del daño mayor a 10 centímetros de pandeo longitudinal (Colombiana, 2013).

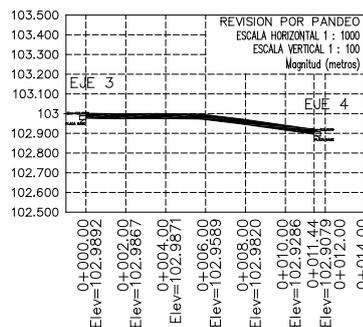


Figura 4: Revisión por pandeo Prueba “B”
Fuente: Elaboración propia [2024].

3.3. Prueba “C”

La Tabla 9 muestra la zona de inspección de la prueba “C”, además, muestra los datos de la inspección realizada a la Columna denominada CA-01 (García, 2007).

Tabla 9: Datos de la inspección en la Prueba “C”
Fuente: Elaboración propia [2024]

Diagnostico estructural	Dictamen Estructural de construcción:	
	Escuela	
Inspección	Dirección de la obra:	Fecha de elaboración:
	Mpio. De Tenango De Doria Hidalgo	22-jun-24
Ubicación de la prueba:	Zona de Impacto Visual:	Edad de la construcción:
Columna: CA - 1	Columna: CA - 1	más de 10 años

La Figura 5 presenta la historia de la evolución de los esfuerzos en la columna CA-1, se observa un desarrollo creciente en la parte superior, en este documento se mide la magnitud de la revisión por pandeo de las características físicas, las cuales denotan esfuerzos mayores a 3000 kg/cm², el análisis estructural muestra una capacidad de 87.05 [Ton*m] y una demanda 87.95 [Ton*m] (Colombiana, 2013).

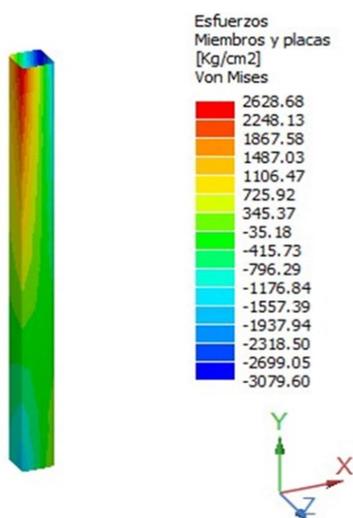


Figura 5: Revisión por capacidad-desempeño Prueba “C”
Fuente: Elaboración propia [2024].

3.4. Prueba “D”

La Tabla 10 muestra la zona de inspección de la prueba “D”, además, muestra los datos de la inspección realizada a la Trabe denominada TM-01 (García, 2007).

Tabla 10: Datos de la inspección en la Prueba “D”
Fuente: Elaboración propia [2024]

Diagnostico estructural	Dictamen Estructural de construcción:	
	Escuela	
Inspección	Dirección de la obra:	Fecha de elaboración:
	Mpio. De Tenango De Doria Hidalgo	22-jun-24

Ubicación de la prueba:	Zona de Impacto Visual:	Edad de la construcción:
Trabe: TM-1	Trabe: TM-1	más de 10 años

La Figura 6 presenta la historia de la evolución de los esfuerzos en la trabe TM-1, se observa un desarrollo creciente en la parte superior, en este documento se mide la magnitud de la revisión por pandeo de las características físicas, las cuales denotan esfuerzos mayores a 1800 kg/cm², el análisis estructural muestra en la revisión por flexión alrededor del eje mayor, la capacidad de 53.02 [Ton*m] y la demanda de -105.30 [Ton*m] (Colombiana, 2013).

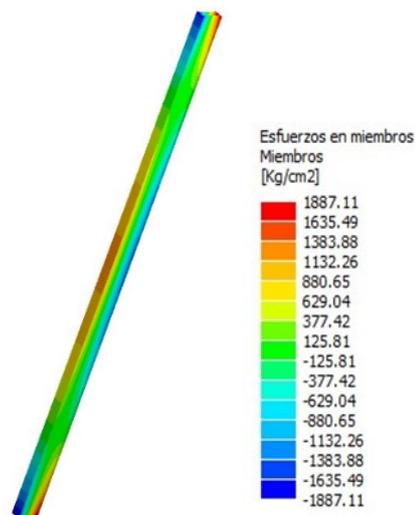


Figura 6: Revisión por capacidad-desempeño Prueba “D”
Fuente: Elaboración propia [2024].

3.5. Prueba “E”

La Tabla 11 muestra la zona de inspección de la prueba “E”, además, muestra los datos de la inspección realizada a la Trabe denominada TM-02 (García, 2007).

Tabla 11: Datos de la inspección en la Prueba “E”
Fuente: Elaboración propia [2024]

Diagnostico estructural	Dictamen Estructural de construcción:	
	Escuela	
Inspección	Dirección de la obra:	Fecha de elaboración:
	Mpio. De Tenango De Doria Hidalgo	22-jun-24
Ubicación de la prueba:	Zona de Impacto Visual:	Edad de la construcción:
Trabe: TM-2	Trabe: TM-2	más de 10 años

La Figura 7 presenta la historia de la evolución de los esfuerzos en la trabe TM-2, se observa un desarrollo creciente en la parte superior, en este documento se mide la magnitud de la revisión por pandeo de las características físicas, las cuales denotan esfuerzos mayores a 1300 kg/cm², el análisis estructural muestra en la revisión por flexión alrededor del eje mayor, la capacidad de 7.26 [Ton*m] y la demanda de 12.76 [Ton*m] (Colombiana, 2013).

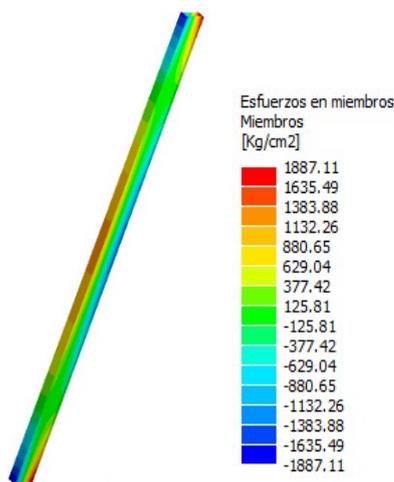


Figura 7: Revisión por capacidad-desempeño Prueba “E”
Fuente: Elaboración propia [2024].

analizan utilizando el criterio 1 y debido a la magnitud del daño se evalúa en el nivel 3 como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13: Evaluación de la prueba “B”
Fuente: Elaboración propia [2024]

Grado	Descripción	Evaluación
1	Desplazamientos con magnitud severa superior al límite de servicio	X
2	Elementos estructurales con deformación severa parcial o total	X
3	Elementos estructurales con desplazamientos o deslizamientos severos	

4.3. Prueba “C”

El análisis de los hallazgos encontrados y mostrados en la Figura 5 representan un daño innegable, por consiguiente, se analizan utilizando el criterio 2 y debido a la magnitud del daño se evalúa en el nivel 2 como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14: Evaluación de la prueba “C”
Fuente: Elaboración propia [2024]

Grado	Descripción	Evaluación
1	Disminución parcial de la resistencia a la flexión de los elementos estructurales ante solicitaciones impuestas de la demanda funcional	X
2	Disminución parcial de la resistencia al cortante de los materiales.	
3	Disminución parcial de la resistencia a la torsión ante incrementos de fuerzas externas	

4.4. Prueba “D”

El análisis de los hallazgos encontrados y mostrados en la Figura 6 representan un daño innegable, por consiguiente, se analizan utilizando el criterio 2 y debido a la magnitud del daño se evalúa en el nivel 3 como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15: Evaluación de la prueba “D”
Fuente: Elaboración propia [2024]

Grado	Descripción	Evaluación
1	Disminución severa de la resistencia a la flexión de los elementos estructurales ante solicitaciones impuestas de la demanda funcional	X
2	Disminución severa de la resistencia al cortante de los materiales.	

4. Análisis

La historia de la deformación de la geometría detectada en la Prueba “A” y en la Prueba “B”, claramente muestra un incremento de los esfuerzos en la construcción; las condiciones existentes generan un ambiente de incertidumbre estructural. Debido a los graves efectos que pueden derivarse de los fenómenos naturales futuros.

Dicho lo anterior, las demandas estructurales son limitadas a valores inciertos, además, la resistencia es disminuida por el diagnóstico emitido. Por ello, se aplican los criterios en busca de establecer estándares mínimos de seguridad. Debido a lo anterior, la seguridad de una construcción es una condición estructural que se encuentra asociada al cumplimiento del estado límite de servicio y del estado límite de falla, (Botero, 2002)

4.1. Prueba “A”

El análisis de los hallazgos encontrados y mostrados en la Figura 3 representan un daño innegable, por consiguiente, se analizan utilizando el criterio 1 y debido a la magnitud del daño se evalúa en el nivel 3 como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12: Evaluación de la prueba “A”
Fuente: Elaboración propia [2024]

Grado	Descripción	Evaluación
1	Desplazamientos con magnitud severa superior al límite de servicio	X
2	Elementos estructurales con deformación severa parcial o total	X
3	Elementos estructurales con desplazamientos o deslizamientos severos	

4.2. Prueba “B”

El análisis de los hallazgos encontrados y mostrados en la Figura 4 representan un daño innegable, por consiguiente, se

3	Disminución severa de la resistencia a la torsión ante incrementos de fuerzas externas
----------	----------------------------------------------------------------------------------------

E	Disminución severa de la resistencia a la flexión de los elementos estructurales ante sollicitaciones impuestas de la demanda funcional externas	2 / 3	1
----------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------	---

4.5. Prueba “E”

El análisis de los hallazgos encontrados y mostrados en la Figura 7 representan un daño innegable, por consiguiente, se analizan utilizando el criterio 2 y debido a la magnitud del daño se evalúa en el nivel 3 como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16: Evaluación de la prueba “E”
Fuente: Elaboración propia [2024]

Grado	Descripción	Evaluación
1	Disminución severa de la resistencia a la flexión de los elementos estructurales ante sollicitaciones impuestas de la demanda funcional	X
2	Disminución severa de la resistencia al cortante de los materiales.	
3	Disminución severa de la resistencia a la torsión ante incrementos de fuerzas externas	

5. Discusión

5.1. Evaluación Diagnostica

Se realiza una evaluación diagnostica con la finalidad de tener claridad en el aporte de los resultados, se observó la existencia de agotamiento de la capacidad de carga de dos componentes de la estructura, además los daños son irreversibles que afectan significativamente su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga, esto establece que la estructura a sobrepasado el estado límite de servicio y está presente el estado límite de falla, (DOF30012020, 2024).

Dicho lo anterior se genera la Tabla 17, en donde se muestra en cada una de las cinco pruebas admitidas en la evaluación estructural correspondiente al diagnóstico, la aplicación de los criterios, su nivel de desarrollo y el grado de afectación.

Tabla 17: Evaluación de las pruebas
Fuente: Elaboración propia [2024]

Prueba	Diagnostico	Criterio / Nivel	Grado
A	Elementos estructurales con deformación severa parcial o total	1 / 3	2
B	Elementos estructurales con deformación severa parcial o total	1 / 3	2
C	Disminución parcial de la resistencia a la flexión de los elementos estructurales ante sollicitaciones impuestas de la demanda funcional	2 / 2	1
D	Disminución severa de la resistencia a la flexión de los elementos estructurales ante sollicitaciones impuestas de la demanda funcional externas	2 / 3	1

De acuerdo al criterio 1 y 2; la respuesta de los elementos estructurales muestra deformación severa parcial o total, disminución parcial y severa de la resistencia a la flexión de los elementos estructurales ante sollicitaciones impuestas de la demanda funcional. (Reyes, 2007).

Conclusiones

Se realizó el estudio de la vulnerabilidad, capacidad y desempeño, aplicando los criterios de análisis de los desplazamientos y de la integridad estructural, además se estudió el límite de la capacidad, límite de desempeño y límite de la demanda estructural por medio de la respuesta a los efectos de los esfuerzos cortante, flector y torsional, esto se logró utilizando los datos históricos de la geometría y las características físicas y los esfuerzos en la construcción.

La obtención de resultados implementando la metodología concluye con las ventajas siguientes:

1. El diagnóstico del sistema indica elementos estructurales con deformación severa parcial o total
2. El diagnóstico del sistema indica disminución de la resistencia a la flexión.

El diagnóstico del criterio 1 y del criterio 2 obtenido aplicando la metodología descrita en esta investigación, se observa la disminución de la resistencia y provoca falla de la integridad de los materiales posterior a mostrar alteraciones físicas.

Agradecimientos

Se agradece al Grupo de Investigación “**Ingeniería Civil Forense**” del Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, al “**Departamento de Ingeniería Civil y Minas**” de la Facultad Interdisciplinaria de Ingeniería de la Universidad del Estado de Sonora y al Grupo de Investigación “**Configuraciones espaciales en el habitar**” del Área Académica de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por la aportación colaborativa para la realización de este documento.

Referencias

Ahumada, J. (2010). Sistema de control en Estructuras. *Inge Cuc*, 6(1), 79–84. <http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/article/view/294>

Arrieta, F. (2016). Patología en edificaciones. *Congreso Internacional De Ingeniería*, 1, 1–55. http://www.usmp.edu.pe/vision2017/pdf/materiales/VISION_2016_C HELA.pdf

Baños, F. (2013). Leyes de atenuación de desplazamientos para sismos asociados al proceso de subducción. *Repositorio UMSNHL*. [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMI CH/4049](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMI_CH/4049)

Botero, L. F. (2002). Análisis de rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción. *Revista Universidad EAFIT*, 128, 9–21.

Carrión, F. (2001). *Evaluación y detección de daño en estructuras utilizando un método inverso por sub-dominios*, Publicación Técnica No. 166.

- 166, 52.
- Carión, 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/publicacionntecnica/pt166.pdf>
- CENAPRED. (2018). Evaluación de la seguridad estructural de edificios. *Centro Nacional de Prevencion de Desastres CENAPRED, Mexico, 1–83.*
- Cerón, J. (2020). Cálculo de la resistencia del suelo al interpolarlo con el MEF. *Padi, 8(15), 7–13.*
- Cerón, J. (2022). Nivel de evaluación de riesgo en puente peatonal tipo armadura utilizando sensores. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI, 9(18), 40–46.* <https://doi.org/10.29057/icbi.v9i18.7354>
- Cerón, J. (2024). Nivel de evaluación del Mecanismo de falla en una construcción de 20 años de edad. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI, 11(22), 129–137.* <https://doi.org/10.29057/icbi.v11i22.11067>
- Colombiana, A. (2013). *Evaluación del nivel de daño en viviendas afectadas por sismos.*
- CSN, U. (2016). Fórmulas para estimar la magnitud de un sismo 20. *Centro Sismológico 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>
- DOF30012020, S. (2024). Lineamientos que establecen el protocolo de alerta común en materia de seguridad. *Diario Oficial de La Federación, 1–6.* https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585190&fecha=30/01/2020#gsc.tab=0
- ERN. (2017). *Los sismos de septiembre 2017: intensidad, vulnerabilidad y pérdidas Personal de ERN.*
- Escamilla, J. (2018). Caracterización Geoestadística de una Probable Intrusión Magmática Activa , a Partir de la Sismicidad Reciente en el Estado de Hidalgo. *Boletín Científico Del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería (ICBI), 11(11), 43–47.* <https://doi.org/https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/7633/>
- Garatchia, J. C. (2013). *Evaluación del Riesgo Sísmico en el área urbana de Tijuana, Baja California, mediante el uso de un pataforma de sistema de información geográfica.* 1–171.
- García, J. R. (2007). *Rehabilitacion Sísmica 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>
- Ghasemi, A., Stephens, M., & Elwood, K. J. (2021). Wellington Building Inventory: Rapid Earthquake Response Framework. *2021 New Zealand Society for Earthquake Engineering Annual Technical Conference.*
- Gomez, D. (2008). Sistemas de control para la protección de estructuras civiles sometidas a cargas dinámicas. *Dyna-Colombia, 75(155), 77–89.*
- Hernández, U. (2002). ANEXO C - Estados de daño. *Evaluacion Del Riesgo Sísmico En Zonas Urbanas,* 10.
- Hurtado, J. (2008). Relación de la escala de intensidad de Mercalli y la información instrumental como una tarea de clasificación de patrones. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 7(13), 71–84.* http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242008000200006
- ISCDF. (2018). Estadística, analisis 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/conveccion2018/pdf/04.pdf>
- Marella, M. (2017). 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
- Marroquín, 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>
- Patiño, C. (2018). Análisis de un modelo analítico para evaluar la interacción entre una mesa vibratoria y una estructura de ensayo durante ensayos de simulación sísmica. *Revista Veritas Et Scientia - Upt, 7(1), 836–847.* <https://doi.org/10.47796/ves.v7i1.13>
- Proteccion civil. (2016). Evaluación de la seguridad estructural de edificios. *SEGOB, 296.*
- Reyes, J. S. V. (2007). *Método algebraico para determinar la deformación por deflexión en vigas estáticamente indeterminadas.* 1–6.
- SEGOB_MR. (2006). Plan municipal de desarrollo 2003-2006, mineral de la reforma, hidalgo. *SEGOB Mineral de La Reforma, 90.* https://doi.org/http://planestataldedesarrollo.hidalgo.gob.mx/pdf/PM D/051-Mineral_De_La_Reforma/PMD_Mineral_de_la_Reforma.pdf
- SSN_UNAM. (2017). Magnitud de un sismo Cálculo de la magnitud Tipos de magnitud. *Servicio Sismológico Nacional de La UNAM, 4.* <https://doi.org/http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Magnitud-de-un-sismo.pdf>
- Vega, J. (2020). *Magnitud local y parámetros de atenuación para el estado de Hidalgo.*
- Vega, V. (2017). Daño acumulado en estructuras-caso estudio: daño en edificios de marcos de h.a en ciudad de México durante el terremoto de Puebla-Morelos en 2017. *Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, 1(69), 1–120.*
- Ximena, S. (2009). *Alternativa Estructural De Refuerzo Horizontal En Muros De Mampostería.* 14, 51–69.