

La rehabilitación y la construcción en pedernales luego de nueve años del terremoto del 16 de abril de 2016

Rehabilitation and construction in pedernales nine years after the earthquake of april 16, 2016

 <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v9.n2.2025.102-114>

Recibido: 10-02-2025

Aceptado: 11-03-2025

Publicado: 25-05-2025

Adrian Adolfo Borrero Bucheli^{1*}

 <https://orcid.org/0000-0002-8563-0954>

Lincoln Javier García Vínces²

 <https://orcid.org/0000-0001-8659-3190>

1. Maestrante Académico con Trayectoria Profesional en Ingeniería Civil Mención Estructuras; Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí; Portoviejo, Ecuador.
2. Profesor de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Manabí; Portoviejo, Ecuador.

Volumen: 9

Número: 2

Año: 2025

Paginación: 102-114

URL: <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/928>

***Correspondencia autor:** aborrero6581@utm.edu.ec

RESUMEN

El terremoto de magnitud 7.8 Mw que afectó a Ecuador el 16 de abril de 2016 expuso severas deficiencias constructivas en Pedernales, donde el 11% de las edificaciones colapsaron. Esta investigación evaluó la eficacia de las intervenciones de rehabilitación estructural y analizó la vulnerabilidad sísmica de nuevas edificaciones construidas en el área central de Pedernales nueve años después del evento. Se adoptó un enfoque metodológico mixto que integró la observación visual directa de las estructuras rehabilitadas y la aplicación de la metodología italiana modificada para determinar el índice de vulnerabilidad en seis edificaciones nuevas de dos o más pisos. Los resultados revelaron tres patrones principales de rehabilitación: reparaciones superficiales sin reforzamiento estructural adecuado, refuerzos con arriostramientos metálicos, y reducción de cargas mediante la eliminación de pisos superiores, siendo las intervenciones superficiales las más predominantes. Las nuevas edificaciones presentaron índices de vulnerabilidad entre 41 y 57, situándolas consistentemente en la categoría de vulnerabilidad media, con derivas inelásticas cercanas o superiores al 1%, indicando deficiencias persistentes en la rigidez estructural. A pesar de mejoras en la regularidad geométrica y organización del sistema resistente, persisten vulnerabilidades asociadas a la calidad deficiente de materiales y limitada supervisión técnica. Estos hallazgos evidencian que, nueve años después del terremoto, las lecciones aprendidas no se han traducido efectivamente en prácticas constructivas más seguras, subrayando la necesidad de fortalecer los mecanismos de control constructivo y capacitación técnica en la región.

Palabras clave: Método italiano modificado, Pedernales-Ecuador, Rehabilitación estructural, Terremoto 16^a, Vulnerabilidad sísmica.

ABSTRACT

The 7.8 Mw magnitude earthquake that affected Ecuador on April 16, 2016, exposed severe construction deficiencies in Pedernales, where 11% of buildings collapsed. This research evaluated the effectiveness of structural rehabilitation interventions and analyzed the seismic vulnerability of new buildings constructed in the central area of Pedernales nine years after the event. A mixed methodological approach was adopted that integrated direct visual observation of rehabilitated structures and the application of the modified Italian methodology to determine the vulnerability index in six new buildings of two or more stories. The results revealed three main rehabilitation patterns: superficial repairs without adequate structural reinforcement, reinforcement with metal bracing, and load reduction through the elimination of upper floors, with superficial interventions being the most predominant. The new buildings presented vulnerability indices between 41 and 57, consistently placing them in the medium vulnerability category, with inelastic drifts close to or exceeding 1%, indicating persistent deficiencies in structural rigidity. Despite improvements in geometric regularity and organization of the resistant system, vulnerabilities associated with poor material quality and limited technical supervision persist. These findings show that, nine years after the earthquake, the lessons learned have not effectively translated into safer construction practices, highlighting the need to strengthen construction control mechanisms and technical training in the region.

Keywords: 16A Earthquake, Modified Italian method, Pedernales-Ecuador, Seismic vulnerability, Structural rehabilitation.



Creative Commons Attribution 4.0
International (CC BY 4.0)

Introducción

Los desastres naturales frecuentemente revelan las vulnerabilidades ocultas en nuestros sistemas constructivos y normativos. El terremoto de magnitud 7.8 Mw (magnitud momento) que sacudió la costa norte de Ecuador el 16 de abril de 2016 constituye un caso paradigmático de esta revelación. Este evento sísmico, producto de la compleja interacción entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamérica, no solo cobró 671 vidas humanas, sino que también expuso críticas deficiencias en las prácticas constructivas vigentes, particularmente en el cantón Pedernales, donde el 11% de las edificaciones colapsaron y numerosas estructuras sufrieron daños severos que comprometieron su integridad estructural.

El terremoto de Pedernales evidenció una discrepancia crítica entre la normativa sismorresistente ecuatoriana y la realidad sísmica del territorio. Mientras la NEC-15 establece una PGA de 0.5 g, los registros alcanzaron 1.413 g, lo que resalta la urgencia de revisar los parámetros de diseño y los mecanismos de control. Además, persisten deficiencias constructivas incluso en ciudades con mayores regulaciones, cuestionando la efectividad de las normativas vigentes (Mieles et al., 2022).

Asimismo, la divergencia entre la intensidad sísmica real y los modelos predictivos subraya la necesidad de actualizar los mapas de peligrosidad sísmica y fortalecer la supervisión en la construcción para reducir la vulnerabilidad estructural. A esto se suma el fenómeno de licuefacción del suelo, documentado mediante interferometría de radar satelital en Portoviejo y Jama, que añade una dimensión crítica al análisis. Estos estudios demuestran que la vulnerabilidad sísmica no solo responde a deficiencias estructurales, sino que también involucra variables geotécnicas frecuentemente subestimadas en la planificación urbana y el diseño estructural (Smith & Mooney, 2021; Cando-Jácome et al., 2020; Avilés-Campoverde et al., 2020).

En cuanto a las estrategias de rehabilitación estructural, el trabajo en edificios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) evidencia la complejidad técnica y logística que implica el reforzamiento de estructuras dañadas. Este estudio de caso resalta la importancia de desarrollar metodologías adaptadas al contexto constructivo ecuatoriano, considerando limitaciones económicas, disponibilidad de materiales y capacitación técnica local (Aguiar et al., 2016).

La evaluación post-sismo de edificaciones en Manta documenta que, en la actualidad existen, muchas estructuras rehabilitadas presentan deficiencias que podrían comprometer su desempeño ante futuros sismos. Esta observación coincide con lo señalado en estudios que identifican vulnerabilidades persistentes en el tejido urbano reconstruido de Portoviejo (Domínguez & López, 2021; Palacios, 2022; Menéndez-Navarro et al., 2023).

Las medidas regulatorias adoptadas por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD), como el caso de Portoviejo, muestran una evolución positiva pero insuficiente hacia sistemas más robustos de control constructivo. La fragmentación administrativa y la variabilidad en la capacidad técnica entre diferentes cantones dificultan la implementación homogénea de estándares de calidad constructiva en la región afectada (Moreira et al., 2023).

El período transcurrido desde el terremoto -nueve años- proporciona una ventana temporal óptima para evaluar la efectividad de las medidas de recuperación implementadas. Esta investigación se propone examinar dos aspectos fundamentales: por un lado, la eficacia de las intervenciones de rehabilitación en las estructuras afectadas y, por otro, la vulnerabilidad sísmica de las nuevas edificaciones de dos o más pisos construidas en el área central de Pedernales. La aplicación del método italiano para la determinación del índice de vulnerabilidad permitirá una evaluación sistemática y comparable internacionalmente de estas estructuras.

Esta investigación busca aportar un análisis sistemático sobre la situación particular de Pedernales, epicentro del sismo de 2016 y un laboratorio natural para comprender las dinámicas de recuperación y adaptación normativa post-desastre en Ecuador. Los resultados permitirán extraer lecciones clave para fortalecer la resiliencia sísmica, no solo en esta localidad, sino también en otras zonas con condiciones sísmicas similares en Ecuador y América Latina.

Materiales y métodos

Esta investigación adoptó un enfoque mixto, integrando métodos cualitativos y cuantitativos para analizar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones en la ciudad de Pedernales tras el sismo del 16 de abril de 2016 (16A). El estudio se enfocó en tres aspectos principales: los daños ocasionados por el sismo, las medidas de rehabilitación implementadas y la evaluación de las edificaciones nuevas de dos o más pisos construidas posteriormente.

Para la evaluación de la vulnerabilidad estructural, se aplicó el método italiano modificado, el cual ofrece un marco sistemático para determinar índices de vulnerabilidad en edificaciones. Este método asigna un Índice de Vulnerabilidad (IV) a cada edificación mediante la evaluación de 11 parámetros estructurales clave, como la organización del sistema resistente, la resistencia convencional, la calidad del material y la cimentación. Cada parámetro recibe una calificación de acuerdo con su estado, y el IV resultante permite clasificar las edificaciones en tres niveles de vulnerabilidad: baja ($IV < 30$), media ($30 \leq IV \leq 60$) o alta ($IV \geq 60$). El análisis se realizará mediante inspección visual y recopilación de datos estructurales in situ. Además, se analizará la configuración en planta y elevación para identificar posibles irregularidades estructurales.

Este método permitió procesar datos cuantitativos y analizar riesgos estructurales asociados a las características constructivas observadas. La recolección de datos se

llevó a cabo mediante observación visual directa, recopilando información relevante para los parámetros establecidos en el método italiano modificado.

El área de estudio corresponde a la ciudad de Pedernales, donde se analizaron dos aspectos principales. En primer lugar, se realizará un análisis rápido y visual de las edificaciones rehabilitadas tras el sismo del 2016, con el objetivo de identificar las estrategias utilizadas para su recuperación. En segundo lugar, el estudio se enfocará específicamente en seis edificaciones nuevas entre dos o más pisos, construidas después del terremoto del 16 de abril en el centro urbano de la cabecera cantonal de Pedernales. Los equipos y materiales utilizados incluyeron una computadora para el procesamiento y análisis de datos, así como un teléfono inteligente para el registro fotográfico y geolocalización de las edificaciones. Además, se emplearon artículos de papelería y formularios de inspección visual para garantizar la adecuada recolección de información tanto cualitativa como cuantitativa.

La investigación tuvo un enfoque cualitativo para interpretar, mediante la experiencia y observación, el daño estructural ocasionado por el sismo, el estado de las estructuras rehabilitadas y las características constructivas de las edificaciones nuevas. Simultáneamente, se incorporó un enfoque cuantitativo para recolectar datos medibles a través de los formularios, lo que permitió fundamentar el análisis y obtener conclusiones sobre la vulnerabilidad estructural. La combinación de ambos enfoques posibilitó una evaluación más integral de los factores que influyen en el comportamiento sísmico de las edificaciones. Además, esta metodología permitió contrastar la percepción de los daños con los datos empíricos obtenidos, reforzando la validez de los hallazgos.

Resultados

Análisis de los daños provocados por el terremoto de Pedernales del 16A en Pedernales y sus posibles causas.

El terremoto del 16 de abril de 2016 (16A), con una magnitud de 7.8 Mw y epicentro cerca de Pedernales, devastó la región costera del noroeste de Ecuador, afectando gravemente el 80% de las edificaciones en dicha ciudad (Yépez & Yépez, 2017). Este evento reveló la vulnerabilidad geológica de la zona, así como fallas críticas en los materiales y técnicas constructivas empleadas.

Uno de los principales factores de los colapsos fue el uso de concreto reforzado de baja calidad, donde se empleó arena de mar como agregado fino, lo que, junto con una alta relación agua/cemento, elevó los niveles de cloruro y aceleró la corrosión de las barras de acero (Palacios, 2022). Adicionalmente, el agregado grueso presentaba compactación inadecuada, generando un concreto poroso y de baja resistencia (Mieles et al., 2022).

Otro fenómeno clave fue la "milonitización" de los agregados, que debilitó la interfaz entre los agregados y la pasta de cemento, creando zonas internas de fractura. Este proceso fue detectado en diversas muestras de estructuras colapsadas, donde las grietas internas, ocultas bajo una capa de mortero, quedaron expuestas durante pruebas de compresión (Menéndez-Navarro et al., 2023).

Desde un punto de vista geológico, Pedernales se ubica en una zona sísmica activa debido a la subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. El acoplamiento tectónico generó tensiones liberadas bruscamente en el terremoto del 16A, provocando un deslizamiento de hasta 3.75 metros en algunas zonas (Jiménez et al., 2021; Molerio-león, 2021). La combinación de la proximidad al epicentro, la licuefacción de suelos y la falta de cumplimiento de normativas sismorresistentes exacerbó los daños. Muchas edificaciones, construidas sin supervisión técnica y con prácticas constructivas deficientes, colapsaron completamente, como en el caso de un hotel que originalmente tenía dos pisos y fue ampliado

a cinco sin considerar los riesgos sísmicos (Domínguez & López, 2021).

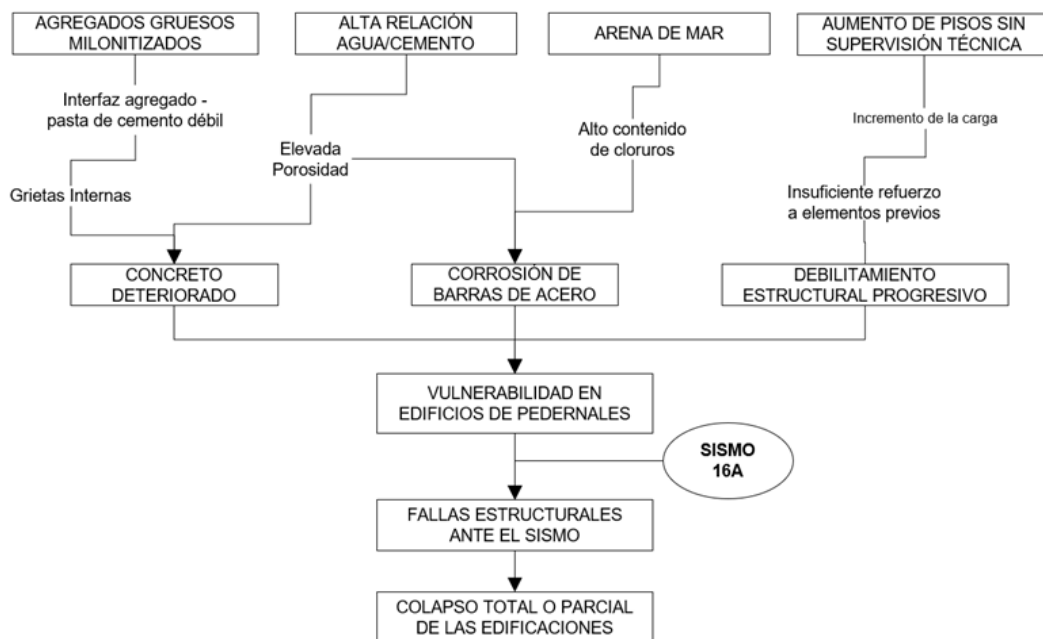
Los análisis indican que los daños en Pedernales fueron el resultado de una combinación de factores. Por un lado, las condiciones geológicas y tectónicas aumentaron la vulnerabilidad frente a un evento sísmico de gran magnitud. Por otro lado, la baja calidad de los materiales, el incumplimiento de normativas sismorresistentes y las prácticas de construcción deficientes contribuyeron significativamente al colapso de miles de edificaciones (Jiménez et al., 2021; Molerio-león, 2021). Esta situación subraya la importancia de considerar estos factores para la planificación de la reconstrucción y la mitigación de futuros riesgos sísmicos en la región.

El sismo de 2016 evidenció fallas estructurales significativas en las edificaciones de Pedernales, resultado de múltiples factores que debilitaron su resistencia.

Entre las principales causas y factores que contribuyen a la vulnerabilidad estructural en la zona, se encuentran las siguientes: el uso de agregados inadecuados, una alta relación agua/cemento, la presencia de cloruros en la arena y la construcción sin supervisión técnica. Estos elementos propiciaron el deterioro del concreto, la corrosión del acero y el debilitamiento progresivo de las edificaciones, lo que, combinado con el evento sísmico, derivó en colapsos totales o parciales. En la Figura 1, se presenta un esquema que ilustra la relación entre estos factores y su impacto en la vulnerabilidad estructural de los edificios en Pedernales.

Figura 1.

Causas y factores que contribuyeron a la vulnerabilidad estructural en edificaciones de Pedernales tras el sismo de 2016



Rehabilitación de estructuras post terremoto: medidas adoptadas y resultados

En la zona centro de Pedernales, la rehabilitación estructural tras el terremoto del 16 de abril de 2016 presentó una variedad de intervenciones que reflejan las limitaciones económicas y técnicas de los habitantes, así como las prioridades inmediatas de reconstrucción. Las medidas adoptadas estuvieron influenciadas por factores como el acceso a recursos, la disponibilidad de mano de obra calificada y el conocimiento de prácticas constructivas resilientes. Entre las principales medidas observadas se destacan:

- Reparaciones superficiales sin reforzamiento estructural adecuado.

En la mayoría de los casos, las intervenciones realizadas no implicaron una verdadera rehabilitación estructural. La reparación consistió principalmente en resanar fisuras y grietas visibles en muros y columnas utilizando mortero o cemento, sin abordar los problemas fundamentales de la estructura. Además, las paredes colapsadas o gra-

vemente dañadas fueron reconstruidas siguiendo los mismos diseños y materiales previos al terremoto, lo que no incorporó mejoras significativas en términos de resistencia sísmica.

Esta práctica se justificó en gran medida por la urgencia de restablecer la habitabilidad de las viviendas y los comercios en el menor tiempo posible. Sin embargo, al no reforzar los elementos estructurales principales, las edificaciones permanecen vulnerables ante futuros eventos sísmicos. Además, la ausencia de supervisión técnica y el uso de materiales de baja calidad contribuyeron a una rehabilitación deficiente.

- Refuerzos con arriostramientos metálicos.

En un menor número de casos, se observaron intervenciones más avanzadas que incluyeron el uso de arriostramientos metálicos para reforzar estructuras dañadas. Esta técnica consistió en la instalación de elementos metálicos diagonales o en forma de cruz de San Andrés entre las columnas y vigas principales, lo que mejoró significativamente la capacidad de las edificaciones

para resistir cargas laterales causadas por movimientos sísmicos.

Los arriostramientos metálicos se aplicaron principalmente en edificios comerciales y viviendas multifamiliares que tenían un valor estratégico o económico considerable. Este tipo de intervención, aunque más costosa, demostró ser una solución efectiva para garantizar una mayor seguridad estructural. Asimismo, en algunos casos se combinaron estas medidas con el uso de encamisados de concreto en columnas y vigas para mejorar la resistencia. Sin embargo, la aplicación de estas técnicas estuvo limitada a propietarios con mayores recursos económicos o acceso a asistencia técnica especializada.

c. Disminución de cargas estructurales.

Otra medida observada fue la reducción de las cargas estructurales mediante la demolición de pisos superiores en edificios de varios niveles. Esta técnica fue implementada en construcciones que presentaban daños severos en su sistema de soporte vertical, especialmente en columnas que mostraban fisuras profundas o pérdida de sección de refuerzo.

La eliminación de pisos superiores redujo significativamente las cargas gravitatorias que actuaban sobre los elementos estructurales inferiores, disminuyendo el riesgo de colapso en futuros movimientos telúricos. Esta estrategia también permitió que las estructuras restantes fueran más fácilmente rehabilitadas con materiales y técnicas locales. No obstante, esta medida también representó una pérdida de espacio útil, lo que tuvo implicaciones económicas para sus propietarios.

En algunos casos, la demolición parcial se combinó con la implementación de sistemas de refuerzo en las partes de la estructura que permanecieron en pie, logrando así una rehabilitación más integral.

Estas medidas reflejan tanto la resiliencia de los habitantes de Pedernales como las limitaciones impuestas por factores econó-

micos, técnicos y sociales. Si bien algunas intervenciones lograron mejorar la seguridad estructural, la falta de un enfoque integral en la mayoría de los casos deja en evidencia la necesidad de fortalecer los programas de capacitación, asistencia técnica y supervisión en los procesos de rehabilitación post-terremoto. Además, la escasez de recursos y la limitada aplicación de normativas actualizadas han generado soluciones parciales que no siempre garantizan una protección adecuada ante futuros eventos sísmicos. Por ello, resulta fundamental articular estrategias que promuevan una reconstrucción más efectiva y sostenible en el tiempo.

La Figura 2 ilustra los desafíos persistentes en la rehabilitación de estructuras tras el terremoto, evidenciando cómo la ausencia de estrategias coordinadas y el incumplimiento parcial o total de las normativas sísmo-resistentes han limitado la efectividad de las medidas implementadas. En muchos casos, las intervenciones realizadas han sido superficiales, sin abordar de manera integral las deficiencias estructurales de las edificaciones afectadas. Esto ha generado un panorama en el que muchas construcciones rehabilitadas siguen presentando vulnerabilidad sísmica, poniendo en riesgo la seguridad de sus ocupantes ante futuros eventos telúricos.

Además, la figura resalta la necesidad urgente de adoptar estándares adecuados en las prácticas constructivas locales, incorporando técnicas de reforzamiento estructural que garanticen edificaciones más seguras y sostenibles a largo plazo. La implementación de estrategias de rehabilitación basadas en principios de ingeniería sísmo-resistente es clave para mejorar la resiliencia de las infraestructuras en zonas de alta peligrosidad sísmica.

Figura 2.

Rehabilitación de estructuras tras el terremoto:

- A) Edificación con reparaciones superficiales sin reforzamiento estructural, lo que deja vulnerables sus elementos críticos ante futuras eventos sísmicos.
- B) Edificación sin medidas de refuerzo, reflejando la falta de intervención adecuada para mejorar su desempeño estructural.
- C) Edificación con reducción de cargas estructurales, estrategia que busca disminuir la demanda sísmica.



Vulnerabilidad de las Nuevas Construcciones en Pedernales: Efectos del Terremoto de 2016

Las características geométricas y estructurales de cada edificio se analizaron a partir de

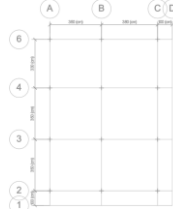
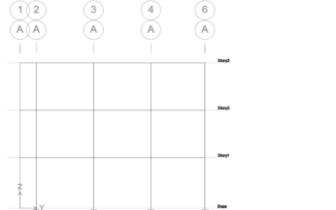
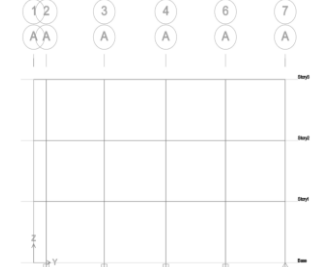
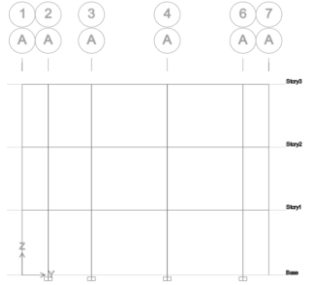
su configuración en planta y elevación, lo que permitió evaluar su vulnerabilidad sísmica.

En la Tabla 1 se visualizan las edificaciones evaluadas y su geometría en planta y elevación.

Tabla 1.

Configuración geométrica en planta y en elevación de las estructuras a evaluar

Nombre	Fotografía	Vista en planta	Vista en elevación
Hostal La elegancia			
Hostal Cujilema			
Panadería Bom PAN			

Clinica MediLAB			
Laboratorio MediLAB			
Confecciones Cespia sport			

A continuación, se presentan las gráficas con los valores de deriva inelástica en los ejes X y Y para las edificaciones evaluadas, obtenidos mediante el método de análisis estático lineal. Según la Metodología Italiana Modificada, una deriva menor al 1% indica buen comportamiento sísmico (categoría A), entre 1% y 2% requiere mayor análisis (categoría B), y superior al 2% re-

fleja alta vulnerabilidad estructural (categoría C). Estos resultados permiten identificar deficiencias en la rigidez y el desempeño estructural de cada edificación, la Figura 3 muestra las derivas inelásticas en la dirección X, mientras que la figura 4 presenta las derivas en la dirección Y evaluando el desplazamiento lateral de las edificaciones en dichos ejes.

Figura 3.
Derivas Inelásticas en X de las estructuras evaluadas

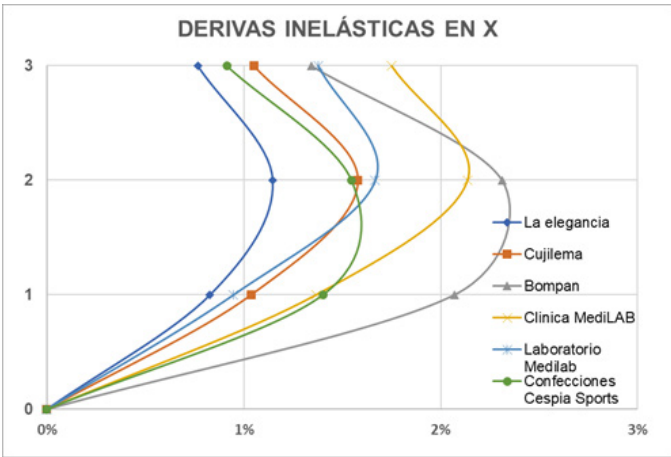
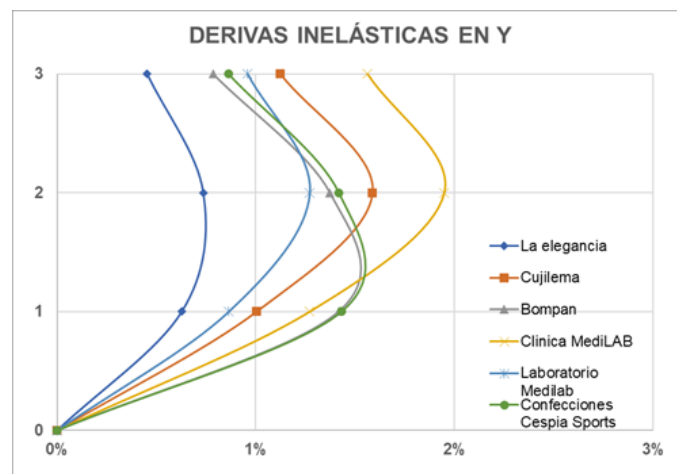


Figura 4.

Derivas Inelásticas en Y de las estructuras evaluadas



Para evaluar el grado de vulnerabilidad estructural en las edificaciones de la zona afectada, se aplicó la metodología italiana modificada, la cual permite clasificar los niveles de riesgo con base en diversos parámetros constructivos y geotécnicos.

A continuación, se presenta la tabla 2 con los resultados obtenidos en la evaluación de

seis edificaciones en Pedernales, donde se detallan los valores asignados a cada uno de los 11 parámetros analizados. A partir de estos datos, se calculó el Índice de Vulnerabilidad (IV) para cada edificación, permitiendo su clasificación en los niveles de riesgo sísmico establecidos por la metodología.

Tabla 2.

Resultados del índice de vulnerabilidad aplicando la metodología italiana modificada

Nº	Parámetro	Hostal La elegancia	Hostal Cujilema	Panadería Bompan	Clínica MediLAB	Laboratorio MediLAB	Confecciones Cespia Sports
1	Organización del sistema resistente	12	12	12	12	12	12
2	Calidad del sistema resistente	3	3	3	3	3	3
3	Resistencia convencional	11	11	22	22	11	11
4	Posición del edificio y cimentación	1	1	1	2	2	1
5	Losas	6	6	6	6	6	0
6	Configuración en planta	3	3	3	3	3	3
7	Configuración en elevación	0	0	0	0	0	0
8	Conexión de elementos críticos	4.5	4.5	0	4.5	4.5	0

9	Elementos de baja ductilidad	0	0	0	0	0	0
10	Elementos no estructurales	1	0	0	4	0	1
11	Estado de conservación	10	10	10	0	10	10
Índice de vulnerabilidad (IV)		51.5	50.5	57	56.5	51.5	41
Interpretación		Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio

A partir de los resultados presentados en la Tabla 2, se observó que todas las edificaciones analizadas presentan un índice de vulnerabilidad dentro del rango medio, lo que indica la persistencia de deficiencias estructurales significativas. Los valores más bajos en parámetros como calidad del sistema resistente, resistencia convencional y estado de conservación reflejan la necesidad de reforzar las prácticas constructivas y mejorar los controles técnicos en la edificación y rehabilitación de estructuras. Estos hallazgos subrayan la importancia de implementar estrategias de mitigación y reforzamiento estructural que permitan reducir los riesgos sísmicos en futuros eventos sísmicos.

Discusión

Los resultados obtenidos mediante la metodología italiana modificada evidencian una vulnerabilidad estructural persistente en las edificaciones de Pedernales, incluso nueve años después del terremoto del 16 de abril de 2016. Los valores del índice de vulnerabilidad (IV), entre 41 y 57, las sitúan en una categoría de riesgo medio, lo que indica que las mejoras en las prácticas constructivas sismorresistentes han sido limitadas. Este hallazgo coincide con estudios previos que documentan deficiencias estructurales en otras ciudades afectadas (Mieles et al., 2022; Domínguez & López, 2021).

El análisis de las derivas inelásticas en los ejes X y Y, representadas en las Figuras 3 y 4, mostraron que la mayoría de las edificaciones presentan valores entre 1% y 2%, aunque algunas estructuras superan este rango, mientras que otras registran valores ligeramente inferiores al 1%. Esta variabi-

lidad indica un nivel de vulnerabilidad estructural que requiere atención diferenciada. Además, se identificaron tres patrones principales de intervención en edificaciones rehabilitadas: (1) reparaciones superficiales sin reforzamiento estructural, (2) refuerzos con arriostramientos metálicos y (3) reducción de cargas mediante la eliminación de pisos. Estos resultados evidencian la complejidad técnica y logística del proceso de reforzamiento estructural en el contexto ecuatoriano (Aguar et al., 2016).

En las nuevas edificaciones, si bien se han registrado mejoras en la regularidad estructural, como se observó en la Tabla 2, persisten deficiencias en la calidad de los materiales y en la resistencia convencional, tal como se evidenció en la Tabla 1. Esto confirma la falta de un control constructivo uniforme (Moreira et al., 2023). Este problema se ve agravado por la influencia de factores económicos y culturales, que perpetúan el uso de materiales inadecuados y prácticas constructivas deficientes (Palacios, 2022; Yépez & Yépez, 2017).

El análisis de las condiciones sísmicas sugiere que la intensidad experimentada en la región pudo haber sido subestimada en los modelos predictivos utilizados para el diseño sismorresistente (Smith & Mooney, 2021). Además, se destaca que la vulnerabilidad sísmica no se limita a factores estructurales, sino que también está condicionada por variables geotécnicas, como la licuefacción de suelos, que no han sido plenamente incorporadas en la planificación urbana y el diseño estructural (Cando-Jácome et al., 2020; Avilés-Campoverde et al., 2020).

Se han registrado avances en algunos aspectos del diseño sismorresistente, las deficiencias estructurales persisten debido a la falta de una aplicación efectiva de las normativas y a la influencia de factores socioeconómicos. Estos resultados subrayan la necesidad de adoptar un enfoque integral que contemple no solo la mejora en los estándares técnicos, sino también estrategias de capacitación, supervisión y planificación urbana sostenible para reducir la vulnerabilidad sísmica en la región (Jiménez et al., 2021).

Conclusiones

El análisis de las edificaciones rehabilitadas en Pedernales revela que la mayoría de las intervenciones realizadas han sido superficiales y carecen de un reforzamiento estructural adecuado, lo que pone en evidencia una brecha alarmante entre las necesidades reales de rehabilitación sismorresistente y las soluciones aplicadas. Si bien algunas estructuras han sido intervenidas con arriostramientos metálicos o reducción de cargas mediante la eliminación de pisos superiores, estas estrategias se han limitado a edificaciones de alto valor económico o estratégico, dejando en situación de vulnerabilidad a la mayoría de edificaciones. Esta realidad refleja no solo desigualdades en el acceso a recursos técnicos y financieros, sino también una falta de planificación integral para mejorar la resiliencia sísmica de la ciudad.

La evaluación de las nuevas edificaciones mediante la metodología italiana modificada confirma que, a pesar de ciertos avances en la regularidad geométrica y en la configuración del sistema resistente, los índices de vulnerabilidad (IV) continúan en un rango medio (41-57). Esto demuestra que las lecciones aprendidas del terremoto de 2016 no se han traducido en una mejora sustancial en la seguridad estructural. Además, las derivas inelásticas superiores al 1% en la mayoría de las edificaciones analizadas revelan deficiencias críticas en la rigidez y capacidad de disipación de energía de las

estructuras. Si bien derivas en este rango pueden indicar un comportamiento aceptable bajo ciertos criterios de diseño, valores que se aproximan al 2% evidencian un alto riesgo de daño severo e incluso de colapso en edificaciones con baja ductilidad.

Estos hallazgos son alarmantes y evidencian que, nueve años después del terremoto, persisten graves vulnerabilidades estructurales tanto en edificaciones rehabilitadas como en nuevas construcciones en Pedernales. Factores como la baja calidad de los materiales, el incumplimiento parcial de normativas sismorresistentes y la limitada supervisión técnica han perpetuado condiciones que podrían derivar en pérdidas humanas y materiales significativas en futuros eventos sísmicos. Es imperativo implementar medidas de control constructivo más rigurosas, reforzar los procesos de capacitación técnica y establecer mecanismos de financiamiento accesibles que permitan la adopción de prácticas constructivas seguras a nivel general. De no tomarse acciones, la ciudad continuará en una situación de vulnerabilidad crítica, exponiendo a su población a riesgos inaceptables en caso de un nuevo sismo de gran magnitud.

Bibliografía

- Aguiar, R., Del Castillo, F., Mizobe, J., & Mendoza, P. (2016). Rehabilitación de edificio afectado por el terremoto del 16 de abril de 2016 de Ecuador en la ULEAM. *Gaceta Técnica*, 15(1), 9-22.
- Avilés-Campoverde, D., Chunga, K., Ortiz-Hernández, E., Vivas-Espinoza, E., Toulkeridis, T., Morales-Delgado, A., & Delgado-Toala, D. (2020). Seismically Induced Soil Liquefaction and Geological Conditions in the City of Jama due to the M7.8 Pedernales Earthquake in 2016, NW Ecuador. *Geosciences*. <https://doi.org/10.3390/geosciences11010020>.
- Cando-Jácome, M., Martínez-Graña, A., Chunga, K., & Ortiz-Hernández, E. (2020). Satellite radar interferometry for assessing coseismic liquefaction in Portoviejo city, induced by the Mw 7.8 2016 Pedernales, Ecuador earthquake. *Environmental Earth Sciences*, 79. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09205-x>.

- Domínguez, J., & López, K. (2021). Evaluación pos sismo de las edificaciones de la ciudad de manta luego del terremoto del 16A. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26(4), 667-711.
- Jiménez, C., Saavedra J., M., & Moreno, N. (2021). Seismic source characteristics of the 2016 Pedernales-Ecuador earthquake (Mw 7.8). *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 312. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2021.106670>
- Menéndez-Navarro, G. M., García-García, J. G., & Reyna-García, A. E. (2023). Vulnerabilidad sísmica en edificaciones de la ciudad de Portoviejo: Reflexiones del 16-A. *Revista InGenio*, 6(1), 73-86.
- Mieles, Y., Vega, R., Bazurto, I., & Alcívar, S. (2022). Estado actual de la calidad de la construcción y reforzamiento en Portoviejo seis años después del terremoto del 16 de abril del 2016. *Revista internacional De Ingeniería De estructuras*, 27(2), 296-314.
- Molerio-león, L. (2021). El terremoto de Pedernales, Ecuador, del 16 de Abril de 2016 y sus causas. *Cuba: Medio Ambiente y Desarrollo*, 21(40), 1-7. www.cmad.ama.cuQR:https://eqrcode.co/a/kcn-tvZ
- Moreira, D. X. A., Valentina, N. A. V., & Alcívar, S. (2023). Análisis de medidas de regulación del GAD de Portoviejo ante desastres sísmicos luego del terremoto del 16-A. *Polo del Conocimiento*, 8(7), 44-66.
- Palacios, B. F. H. (2022). Terremoto del 16 de abril de 2016 en Ecuador: calidad de la construcción y reforzamiento en Portoviejo cinco años después. *Dominio de las Ciencias*, 8(2), 961-990.
- Smith, E., & Mooney, W. (2021). A Seismic Intensity Survey of the 16 April 2016 Mw 7.8 Pedernales, Ecuador, Earthquake: A Comparison with Strong-Motion Data and Teleseismic Backprojection. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220200290>.
- Yépez, F., & Yépez, O. (2017). Role of construction materials in the collapse of R/C buildings after Mw 7.8 Pedernales – Ecuador earthquake, April 2016. *Case Studies in Structural Engineering*, 7, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.csse.2016.12.001>

Cómo citar: Borrero Bucheli, A. A. ., & García Vincés, L. J. . (2025). La rehabilitación y la construcción en pedernales luego de nueve años del terremoto del 16 de abril de 2016. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 9(2), 102-114. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v9.n2.2025.102-114>