

RESEARCH ARTICLE

Análisis post-sismo en viviendas del cantón Azogues - Ecuador

Kevin Rojas Méndez ¹  Jaime Xavier Nieto-Cárdenas ^{1,2}  Paúl Illescas-Cárdenas ¹ 

¹ Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador

² Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

✉ Correspondencia: kerjasm58@est.ucacue.ed.ec  + 593 978845091

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj71114>

Resumen: Este estudio se llevó a cabo en viviendas del cantón Azogues como respuesta al sismo ocurrido el 18 de marzo de 2023 en Ecuador. La investigación implicó el análisis de al menos 20 viviendas o edificaciones, con el propósito de realizar un análisis post-sismo de elementos tanto estructurales como no estructurales. Además, se tiene como objetivo proponer medidas para reparar y prevenir los daños identificados más comunes. Para llevar a cabo el análisis *in situ*, se empleó un formulario estandarizado para recopilar información básica, se tomaron fotografías, se realizaron mediciones de fisuras, se esquematizaron los elementos encontrados y se tabularon los datos correspondientes. Los resultados del análisis revelaron que varias viviendas presentan únicamente daños no estructurales. En cuanto a las otras viviendas, se encontraron fallos debido a una combinación de factores, entre los cuales se incluían deficiencias como: procesos constructivo y falta de mantenimiento.

Palabras claves: Estructura sísmica, Vulnerabilidad estructural, Daños post-sismo, Evaluación estructural, Construcciones en Azogues.

Post-earthquake análisis in buildings at Azogues - Ecuador

Abstract: This study was carried out in homes at Azogues in response to the earthquake that occurred on March 18, 2023, in Ecuador. The research involved the analysis of at least 20 houses or buildings, with the aim of conducting a post-earthquake analysis of both structural and non-structural elements. It was also intended to propose measures to repair and prevent the most identified damage.

To carry out the analysis *in situ*, a standardized form was used to collect basic information, photographs were taken, cracks measurements were made, the elements found were plotted and the corresponding data tabulated. The results of the analysis revealed that several houses had only non-structural damage. For the other dwellings, failures were found due to a combination of factors, including deficiencies in



Cita: Rojas Méndez, K., Nieto-Cárdenas, J. X., & Illescas-Cárdenas, P. (2024). Análisis post-sismo en viviendas del cantón Azogues – Ecuador. *Green World Journal*, 7(1), 114.

<https://doi.org/10.53313/gwj71114>

Received: 25/January /2024

Accepted: 26/March /2024

Published: 02/April /2024

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2024 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

construction, lack of architectural plans, insufficient structural designs and lack of maintenance. These deficiencies contributed to the vulnerability of homes to seismic events.

Redactar una o dos oraciones introductorias. Problemática. objetivo. Metodología. Resultados. Breve conclusión.

Keywords: Seismic structures, Structural vulnerability, Seismic damage, Structural assessment,

1. Introducción

El sismo de Ecuador ocurrido el 18 de marzo de 2023 a las 12:12 hora local, con una magnitud de momento de M_w 6,64 y una profundidad de 63,1 km con epicentro en el extremo Nor-oriental de la Isla Puná en el Golfo de Guayaquil [1], como se muestra en la figura 1. La ocurrencia de este sismo dejó como resultado varias estructuras dañadas y al menos 15 víctimas mortales. Ese mismo día, se produjeron réplicas adicionales, entre las cuales se destaca una de M_w 4.6 [2], como se muestra en la figura 1.

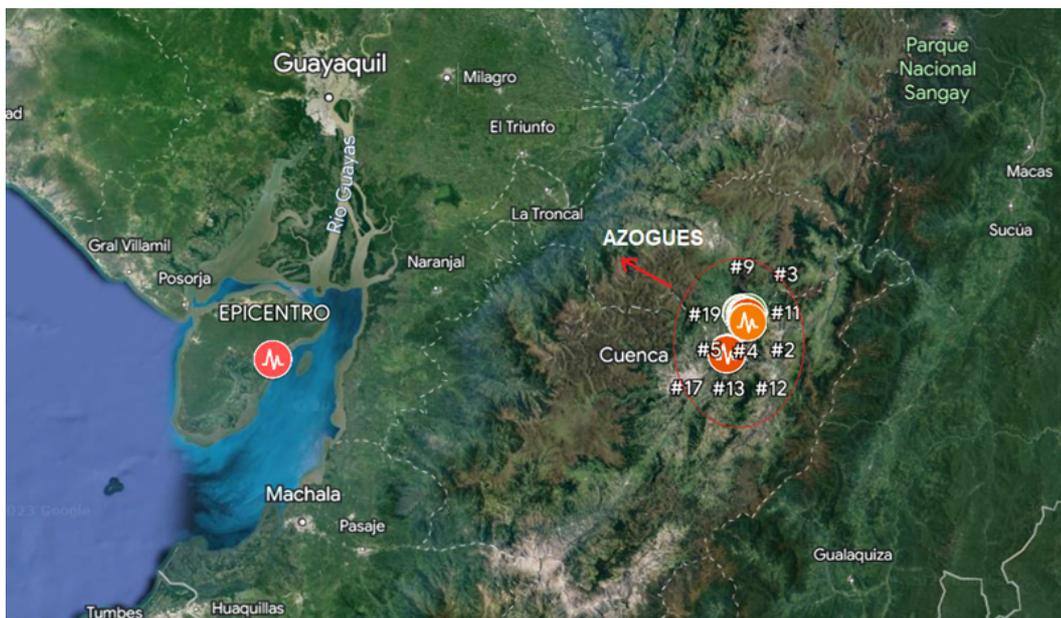


Figura 1. Mapa que muestra la ubicación epicentral del acontecimiento ocurrido el 18 de marzo, a las 12:12 (hora local) y la ubicación de la zona de estudio.

Hasta las 13:15 (TL), el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional registró un total de 699 informes a través de la aplicación "Sintió el Sismo". El sismo se percibió en prácticamente todas las provincias del país, sin embargo, se observó una mayor cantidad de notificaciones provenientes de Guayas, Pichincha, Azuay y El Oro, destacando especialmente las ciudades de Guayaquil, Quito, Cuenca [1]. Por la magnitud del evento, se procede a evaluar al menos 20 casas en el cantón Azogues, por la preocupación de conocer daños que generó este evento en viviendas de este cantón.

En la provincia de El Oro, en particular en las localidades de Machala, Santa Rosa y Huaquillas, se registra una intensidad sísmica estimada en un rango de 5 a 6 EMS (escala macrosísmica europea), lo que sugiere la posibilidad de que las estructuras pudieron experimentar daños de grado 1 en estructuras altamente susceptibles. En la provincia de Azuay, específicamente en la ciudad de Cuenca, se observa una intensidad sísmica de aproximadamente 4 a 5 en la EMS [1].

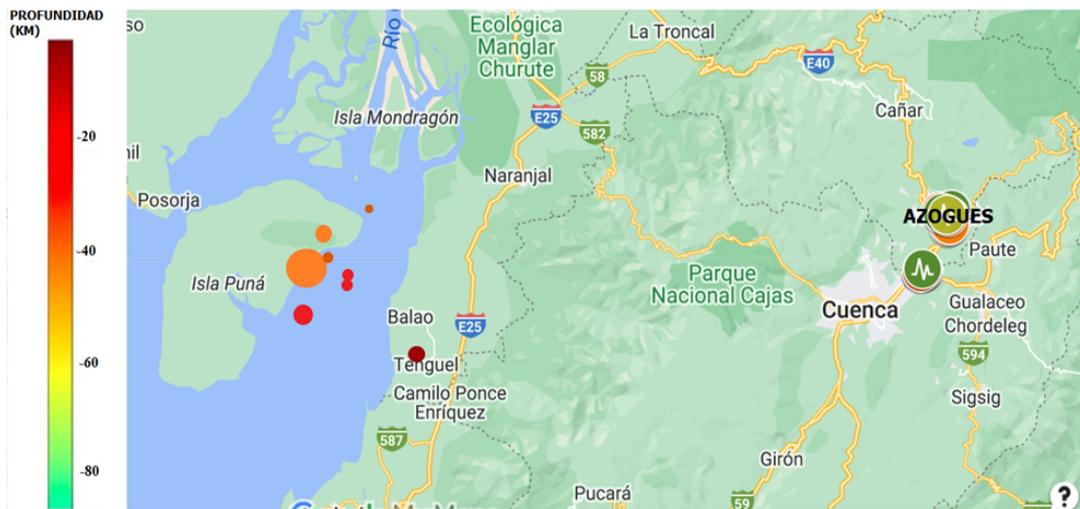


Figura 2. Mapa con ubicación de eventos localizados en la zona del Golfo luego del sismo de Mw 6.64.

La ausencia de un análisis de las fallas post-sismo en las viviendas podría conllevar repercusiones negativas a corto y largo plazo. En primer lugar, existe la posibilidad de que las residencias afectadas resulten inseguras para su ocupación, lo que a su vez podría poner en peligro la seguridad y bienestar de sus habitantes. Adicionalmente, la carencia de reparaciones apropiadas y la implementación de medidas preventivas podrían aumentar la susceptibilidad de las estructuras ante futuros eventos sísmicos, incrementando de esta manera el riesgo de sufrir daños aún más substanciales [4]. Las recomendaciones proporcionadas se sustentaron en las patologías y daños más frecuentes que se identificaron durante el proceso de inspección.

Se realizó un análisis post-sismo en algunas viviendas del cantón Azogues, con el fin de recopilar información sobre los tipos y magnitudes de daños sufridos. Esta información se utiliza como base para proponer acciones concretas que mitiguen la vulnerabilidad presente en estas viviendas. La identificación precisa de las áreas problemáticas permite el desarrollo de estrategias y recomendaciones de diseño, construcción y rehabilitación que refuercen las viviendas y mejoren su comportamiento sísmico.

La obtención de información crucial para este análisis post-sismo en las viviendas fue un proceso múltiple. En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda de datos a través de redes sociales, en colaboración con el GAD Municipal de Azogues, en particular con el Departamento de Gestión de Riesgos. Esta entidad proporcionó una lista de ubicaciones de viviendas afectadas, lo que enriqueció nuestra base de datos.

En segundo lugar, se inició el levantamiento de información en campo utilizando el formulario del IDIGER (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático) de Colombia, específicamente diseñado para recopilar datos relevantes en situaciones post-sismo. Además, se realizaron detalladas sesiones de fotografía para documentar visualmente los daños observados en las viviendas [5].

En tercer lugar, se procedió a la tabulación de todos los datos recopilados, incluyendo información sobre el periodo de construcción, número de niveles, sistema estructural y la presencia de daños en elementos estructurales y no estructurales. Esto permitió una caracterización de las viviendas y la identificación de patrones de daño. Asimismo, con la ayuda de Revit se esquematizaron las viviendas que habían sufrido las mayores afectaciones, lo que proporcionó una representación visual de la gravedad de los daños.

Por último, basándonos en los datos recopilados y el análisis realizado, se proponen arreglos para abordar los daños más frecuentes encontrados, ya sean de naturaleza estructural o no estructural.

Los hallazgos obtenidos durante este análisis revelaron patrones significativos en los tipos de daños observados en las viviendas. En su mayoría, se encontraron daños no estructurales en las viviendas ubicadas en zonas céntricas del cantón Azogues. Estos daños no estructurales incluyeron grietas en paredes, techos y pisos. Así como daños en elementos no esenciales como ventanas, puertas y revestimientos. Estos resultados sugieren la necesidad de mejorar las prácticas de construcción y el mantenimiento en estas áreas urbanas para reducir la vulnerabilidad de las viviendas ante eventos sísmicos.

Al contrario, en las zonas rurales del cantón Azogues, se observaron daños estructurales más significativos en las viviendas. Estos daños afectaron elementos esenciales de la estructura, como columnas, vigas y cimientos, lo que pone en manifiesto la necesidad de ser más rigurosos en la construcción y diseño de viviendas en estas áreas. La influencia de la construcción con mano de obra calificada y la utilización de planos arquitectónicos y estructurales adecuados fue evidente en la reducción de los daños estructurales observados.

Las viviendas que siguieron prácticas de construcción más formales y utilizaron diseños arquitectónicos planificados presentaban una mayor resistencia ante los sismos, lo que resalta la importancia de contar con un profesional del sector de la construcción.

En una investigación previa llevada a cabo en Azogues por otro autor, se evaluó la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón conforme a la norma ASTM C39.

Los resultados revelaron que el 17.65% de las muestras (equivalente a 9) cumplió o superó la resistencia mínima estipulada, mientras que el 82.35% (equivalente a 42 muestras) no logró alcanzar dicha resistencia, establecida por la normativa NEC-15 en 210 kg/cm². Considerando estos resultados se obtuvo una resistencia promedio de 120 kg/cm² [6].

En resumen, los hallazgos de este análisis resaltan la necesidad de mejorar las prácticas de construcción y el mantenimiento en áreas urbanas y rurales para reducir los daños no estructurales en viviendas. Asimismo, subrayan la importancia de invertir en la formación de mano de obra calificada y la aplicación de planos arquitectónicos adecuados en áreas rurales para mitigar los daños estructurales en viviendas, mejorando así la resiliencia de las comunidades ante futuros eventos sísmicos.

2. Materiales y métodos

Para el desarrollo del presente estudio se realiza varios pasos bajo la siguiente metodología:

2.1 Levantamiento de información preliminar

Al igual que en sismos pasados, no se tiene un conteo detallado de todas las estructuras que resultaron dañadas dentro del cantón Azogues, pero gracias a las tecnologías de información, a la cooperación de instituciones gubernamentales los datos recabados han sido de mayor calidad, gran parte de las ubicaciones de las viviendas analizadas fueron proporcionadas por el departamento de Gestión de Riesgos del GAD de Azogues. Es común en el país solo generar estos registros en ciudades de la costa, donde la sismicidad es más alta.

2.2 Levantamiento de Información de Campo

Para obtener datos específicos sobre las viviendas en el cantón Azogues, se llevó a cabo un levantamiento de información in situ. Esto involucró la visita a viviendas de la zona, donde se realizó el llenado de fichas técnicas detalladas. Durante estas visitas, se recopiló información visual a través de fotografías que documentaron el estado actual de las estructuras y los daños observados.

2.3 Análisis de los Daños

La información recopilada durante las visitas de campo fue sometida a una tabulación. Se examinaron los tipos de daños presentes en las viviendas, se categorizaron según su gravedad de acuerdo con el formulario empleado y se identificaron patrones comunes. Este análisis permitió comprender las vulnerabilidades estructurales prevalentes en la zona y establecer la base para las soluciones propuestas.

2.4 Propuesta de soluciones

Con base en el análisis de los daños y la investigación de soluciones, se generaron propuestas concretas para reducir la vulnerabilidad estructural de las viviendas en el cantón Azogues. Estas propuestas abarcaron medidas para el reforzamiento estructural, diseño y construcción de futuras viviendas.

La distribución o caracterización del AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica) se emplea en las soluciones o reparaciones cosméticas, las cuales tienen como objetivo mejorar la apariencia visual y pueden también beneficiar las propiedades no estructurales de los componentes, como también las reparaciones de elementos estructurales.

3. Resultados

El hallazgo principal de este estudio sobre el análisis post sísmico en viviendas es que se ha identificado una correlación significativa entre la calidad de construcción de las viviendas y su capacidad de resistencia a los terremotos. Las viviendas que cumplen con estándares de construcción, tales como diseños arquitectónicos y estructurales, y que cuentan con mano de obra calificada, tienen una mayor probabilidad de resistir los efectos sísmicos sin sufrir daños, ya sean estos de naturaleza no estructural o estructural.

3.1. Levantamiento de la información preliminar

Con ayuda de las tecnologías de la información y la colaboración del GAD Municipal de Azogues (Departamento de Gestión de Riesgos), se logró una identificación más eficiente de las edificaciones con problemas durante la fase de Levantamiento de Información Preliminar. Esto ha sido fundamental para el desarrollo de nuestro estudio y la identificación de las viviendas que requieren un análisis más detallado después del sismo de marzo.

La figura 3, que se presenta a continuación ofrece una visión general de la ubicación de las casas en nuestra investigación. Esta representación gráfica sirve como punto de partida para comprender la distribución geográfica de las viviendas en el estudio. En el lado izquierdo, se presenta una vista general, mientras que en la parte inferior y derecha se ofrece un acercamiento que muestra la dispersión de las casas en la zona de investigación.

3.2. Levantamiento de información en campo

Durante esta etapa, se procede a la obtención de datos básicos acerca de las viviendas que constituirían el objeto de estudio. Esta recopilación de información comprendió detalles, tales como

el número de niveles presentes en cada edificación, el uso específico (ya fuera una vivienda unifamiliar, multifamiliar, comercial u otra categoría), la dirección de cada inmueble, el período aproximado de construcción, las condiciones topográficas circundantes y si la construcción contó con supervisión técnica o no.

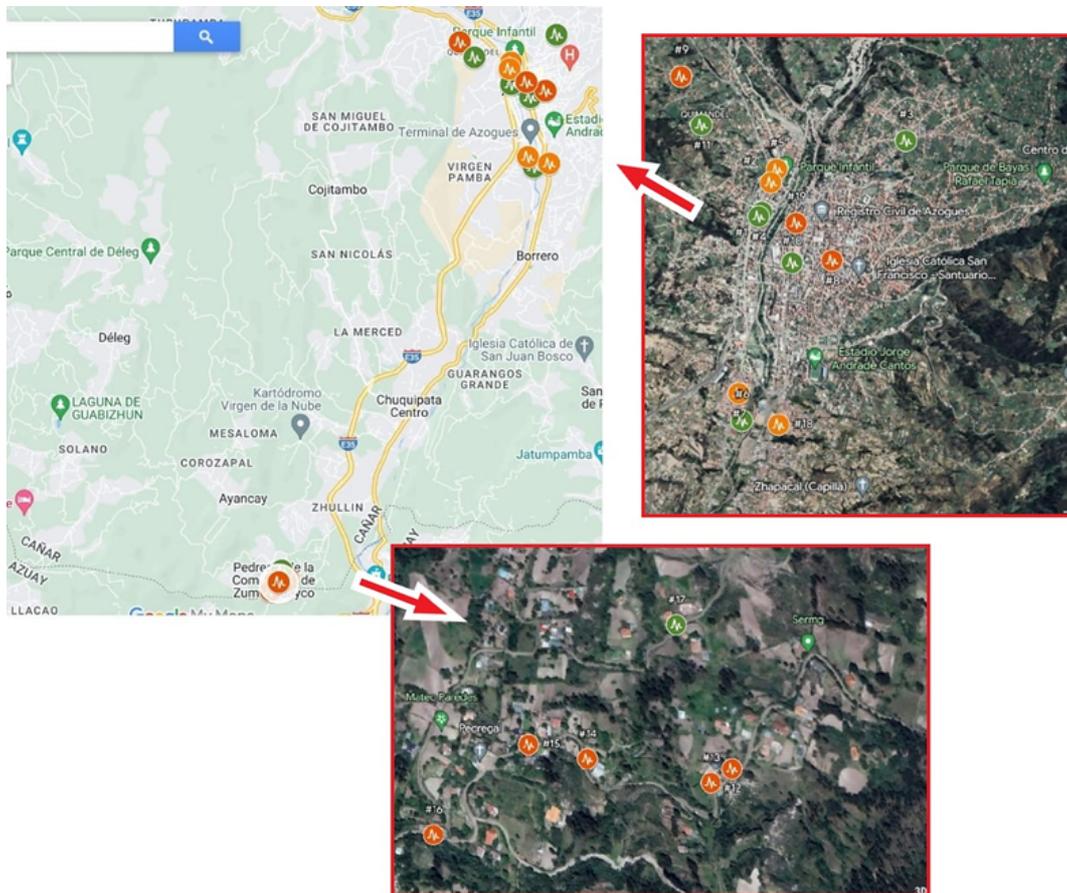


Figura 3. Una visión general se presenta a la izquierda, mientras que en la parte inferior y derecha se muestran acercamientos de las ubicaciones de las viviendas analizadas.

A continuación, se presentan las descripciones de las 20 edificaciones que fueron objeto de análisis en nuestro estudio:

Casa 1.

Observación general.

La vivienda está ubicada en la intersección de las calles Ambato y Portoviejo. Tiene uso unifamiliar con tres niveles. La estructura, construida hace aproximadamente 15 años, se compone de ladrillos y bloques. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación intermedia dentro de la manzana y presenta un terreno con topografía plana. Cuenta con planos arquitectónicos.

Daños observados:

Se han identificado daños no estructurales en la vivienda, como fisuras menores en las paredes y techos, así como problemas en acabados y revestimientos.

Casa 2.

Observación general.

La edificación llamada “Centro Cultural La Vieja Estación del Tren” está ubicada en la Av. 16 de abril y Alberto Ochoa. Presenta una tipología de uso institucional, cuenta con un nivel. A pesar de la ausencia de planos arquitectónicos, se puede apreciar una distribución eficiente. La estructura, construida antes de los años 60s, se compone de madera, ladrillos y bloques. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación libre a los dos costados dentro de la manzana y presenta un terreno con topografía plana.

Daños observados:

Se han registrado daños no estructurales en la edificación, como grietas en las superficies de paredes y cielos rasos, así como muchas fisuras en los marcos de puertas y ventanas, además de presentar deficiencias en acabados y revestimientos.

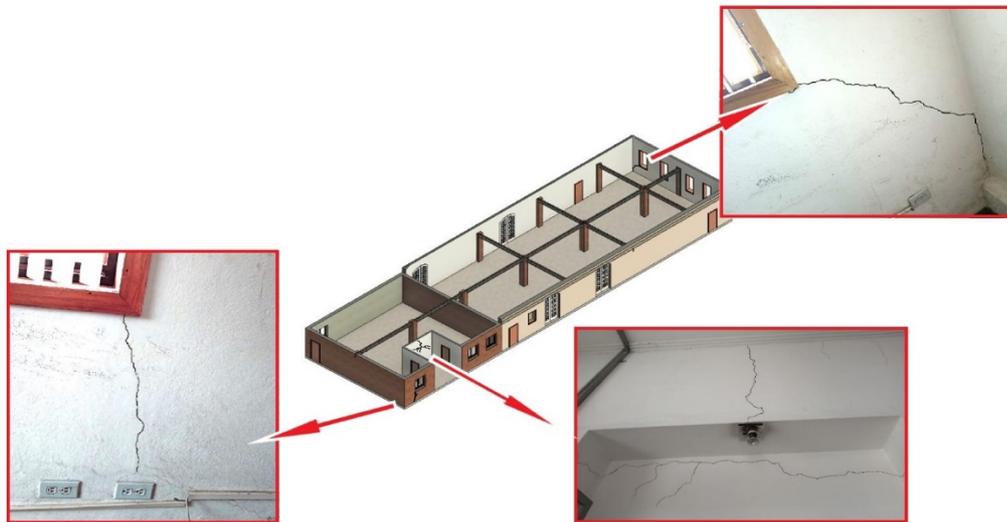


Figura 4. Casa 2. Detalle de fisuras en biblioteca municipal.

Casa.3

Observación general.

La vivienda está ubicada en la intersección de las calles Alfonso Vintimilla e Ingapirca. Presenta una tipología unifamiliar con dos niveles. La estructura, construida hace aproximadamente 26 años, se compone de ladrillos y bloques. La vivienda encuentra posicionada en una ubicación intermedia dentro de la manzana y presenta un terreno con topografía inclinada. Cuenta con planos arquitectónicos.

Daños observados:

Se han identificado daños no estructurales en la vivienda, como fisuras menores en las paredes, techos y tanque elevado, así como problemas en acabados y revestimientos.

Casa. 4

Observación general:

La vivienda está ubicada en la Av. 16 de abril y Chimborazo. Presenta una tipología unifamiliar con dos niveles. Se puede apreciar una distribución eficiente y funcional en su diseño interior. La estructura, construida hace aproximadamente 20 años, se compone de ladrillos y bloques, lo que confiere durabilidad y robustez al conjunto. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación intermedia dentro de la manzana y presenta un terreno con topografía plana.

Daños observados:

Se han identificado daños no estructurales en la vivienda, como fisuras menores en las paredes, techos y entepiso, así como problemas en acabados y revestimientos.

Casa. 5

Observación general.

La edificación llamada "Centro Cultural Vicente Cayamcela Coronel" está ubicada en la Av. 16 de abril y Alberto Ochoa. Presenta una tipología de uso institucional con dos niveles. La estructura, construida hace aproximadamente 25 años, se compone de una parte antigua y otra "moderna", la primera de tapial y la segunda de bloques. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación libre a un costado dentro de la manzana y presenta un terreno con topografía plana.

Daños observados:

Se han registrado daños no estructurales en la edificación, como grietas en este caso considerables de aproximadamente medio centímetro en las superficies de paredes y cielos rasos, así como muchas fisuras en los marcos de puertas y ventanas, además de presentar deficiencias en acabados y revestimientos.

Casa.6

Observación general.

La vivienda está ubicada en la calle C. Gregorio Cordero y S/N. Presenta una tipología unifamiliar con dos niveles. La estructura, construida hace aproximadamente 15 años, se compone de ladrillos y bloques. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación intermedia dentro de la manzana y presenta un terreno con topografía plana.

Daños observados:

Se han detectado daños significativos en una sección de los muros de cerramiento, en forma de fisuras diagonales que recorren toda la pared.

Casa. 7

Observación general.

La edificación llamada “Centro Cultural Rodrigo Pesantez Rodas” está ubicada en la Av. 16 de abril y Luis Ortega. De uso institucional con tres niveles. La estructura, construida antes de 1960, se compone de madera y tapial. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación libre a los dos costados dentro de la manzana y presenta un terreno con topografía inclinada. Ya ha sido restaurada anteriormente.

Daños observados:

Se han registrado daños no estructurales en la edificación, como fisuras en las superficies de paredes y cielos rasos, así como muchas fisuras alrededor de los marcos de puertas y ventanas, además de presentar deficiencias en acabados y revestimientos.

Se ha registrado un daño estructural en una viga de madera en nivel 3, la cual presenta una abertura en la mitad de su luz.

Casa.8

La edificación llamada “Quinta San José” está ubicada en la calle Cacique Tenemaza y J.J. de Olmedo. De propiedad gubernamental y con tres niveles, actualmente se encuentra abandonada. La estructura, construida hace aproximadamente 70 años, se compone principalmente de tapial. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación esquinera dentro de la manzana y presenta un terreno con topografía inclinada. Se encuentra en proceso de rehabilitación.

Daños observados:

Se han registrado daños no estructurales en la edificación, como grietas en las superficies de paredes y cielo raso, así como muchas fisuras en los marcos de puertas y ventanas, además de presentar deficiencias y desprendimientos en acabados y revestimientos.



Figura 5. Casa 8. Quinta “San José” la imagen muestra una pared de tapial antigua, evidenciando daños, algunos de los cuales se atribuyen al sismo reciente. La visita, realizada en colaboración con el departamento de gestión de riesgos del GAD Municipal de Azogues

Casa. 9

Observación general.

La vivienda está ubicada en la calle vía a Cojitambo. Tiene uso exclusivo de bodega con un nivel. La estructura, construida hace aproximadamente 15 años, se compone de estructura de madera y bloques. Ha sido construida empíricamente lo cual se evidencia en su calidad de construcción y materiales. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación libre en ambos lados de la manzana y presenta un terreno con topografía inclinada.

Daños observados:

Se han detectado daños significativos como fisuras en todos los lados de la bodega.

Casa. 10

Observación general.

El edificio de la “Bodega” está ubicada en la Av. 24 de mayo. Su uso predominante es comercial con cinco niveles. La estructura, construida hace aproximadamente 25 años. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación intermedia dentro de la manzana y presenta un terreno con topografía plana.



Figura 6. Casa 9. Detalle de fisuras en bodega.

Daños observados:

Se han identificado daños no estructurales en la edificación, como fisuras menores en acabados y revestimientos.

Casa. 11

Observación general.

La vivienda está ubicada en la vía a Cojitambo. Tiene uso residencial con dos niveles. La estructura, construida hace aproximadamente 25 años. Ha sido construida empíricamente lo cual se evidencia en su calidad de construcción. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación libre en ambos lados de la manzana y presenta un terreno topográfico con inclinación.

Daños observados:

Se han observado daños significativos en elementos estructurales clave de la vivienda, incluyendo muros y escaleras. Estos daños requieren una evaluación y reparación detallada para garantizar la integridad y seguridad de la estructura



Figura 7. Casa 11. Daños en muros y escaleras.

Casa. 12

Observación general.

La vivienda está ubicada en el barrio Pedregal de Zumbahuayco. Tiene uso residencial con tres niveles. La estructura, edificada hace aproximadamente 20 años. Ha sido construida empíricamente y sin planos arquitectónicos lo cual se evidencia en su calidad de construcción. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación libre en ambos lados de la manzana y presenta un terreno topográfico con pendiente.

Daños observados:

Se han observado daños significativos en elementos no estructurales como fisuras de entre 3 y 6 mm, encontrados en su mayoría en un solo lado de la de la casa, la planta bajase encuentra en construcción. No cuenta con paredes.

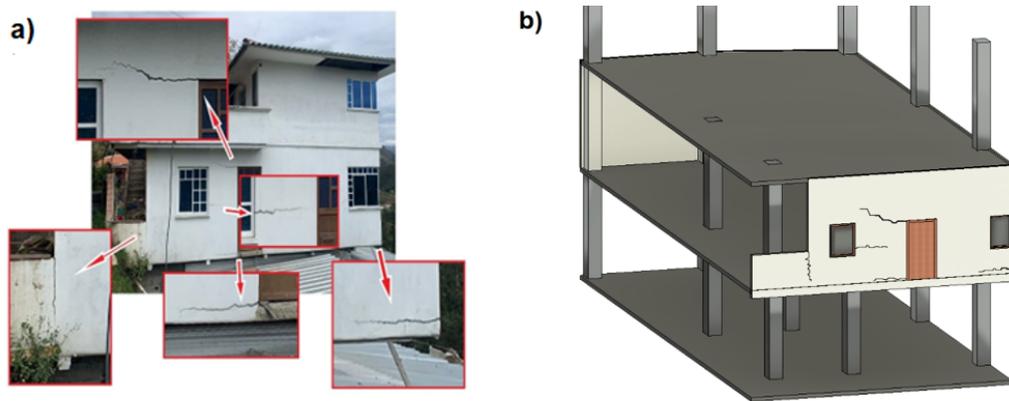


Figura 8. Casa 12. a) Detalle de fisuras en vivienda. b) esquema de la vivienda con la ubicación de fisuras

Casa. 13

Observación general.

La vivienda está ubicada en el barrio Pedregal de Zumbahuayco. Tiene uso residencial con dos niveles. La estructura, construida hace aproximadamente 10 años. Ha sido construida con supervisión técnica. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación libre en ambos lados de la manzana y presenta un terreno topográfico con inclinación pronunciada.

Daños observados:

Se han detectado daños significativos tanto en elementos estructurales como no estructurales de la vivienda. La losa exhibe fisuras de más de 5 mm de ancho y un muro de contención de piedra presente fisuras. mientras que se han identificado fisuras considerables en el cerramiento y las gradas. Además, los daños no estructurales se extienden a los marcos de ventanas y puertas.

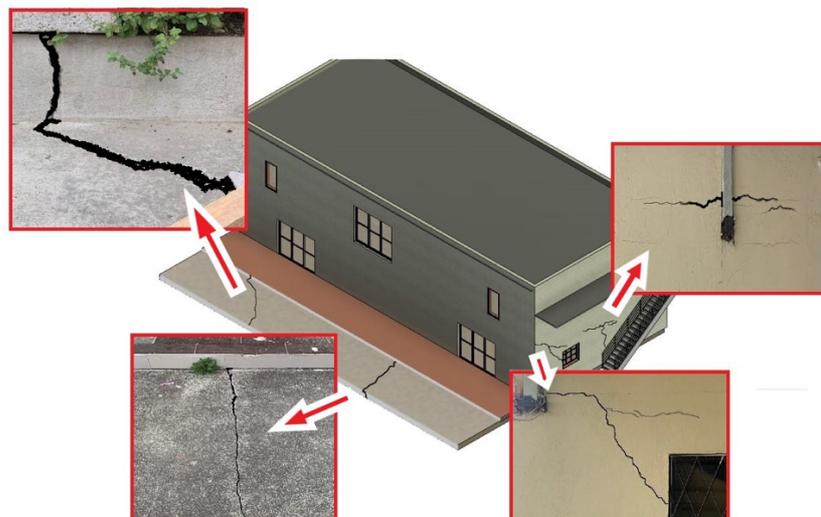


Figura 9. Casa 13. Detalle de fisuras de dos niveles.

Casa. 14

Observación general.

La vivienda está ubicada en el barrio Pedregal de Zumbahuayco. Tiene uso residencial con dos niveles. La estructura, construida hace aproximadamente 2 años. Ha sido construida con supervisión técnica. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación libre en ambos lados de la manzana y presenta un terreno topográfico una leve pendiente. Daños observados: se han detectado una fisura de entre 6 a 8 mm en un marco de la ventana de la casa que está en dirección a la pendiente.

Casa. 15

Observación General:

La vivienda está situada en el barrio Pedregal de Zumbahuayco. El primer nivel se destina exclusivamente a uso comercial, mientras que los dos niveles superiores están destinados a uso residencial. La estructura, erigida hace aproximadamente 20 años, ocupa una posición libre en ambos lados de la manzana y se asienta sobre un terreno de topografía plana.

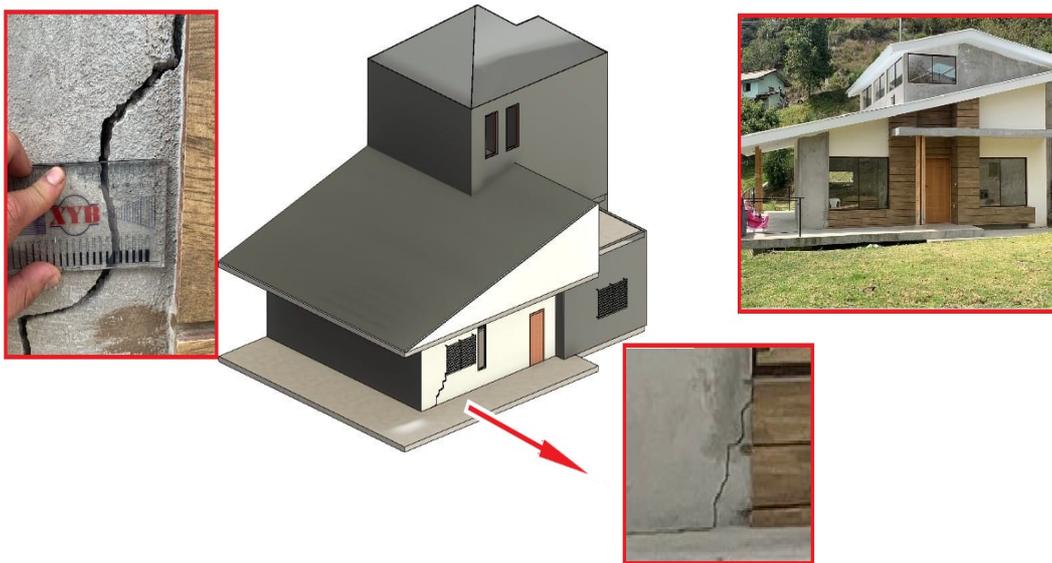


Figura 10. Casa 14. Detalle de fisuras en vivienda nueva.

Daños Observados:

Se han constatado daños no estructurales en el edificio, tales como grietas que atraviesan las superficies de paredes y cielos rasos. Asimismo, se han identificado numerosas fisuras en los marcos de puertas y ventanas. Además, se han observado fisuras en los cerramientos de piedra y en las paredes de ladrillo. En la parte trasera de la vivienda, se ha registrado una fisura considerable que se extiende entre la losa y el primer nivel.

Casa. 16

Observación General:

La vivienda está situada en el barrio Pedregal de Zumbahuayco. Está destinados a uso residencial. La estructura, erigida hace aproximadamente 10 años, ocupa una posición libre en ambos lados de la manzana y se asienta sobre un terreno de topografía inclinada. No cuenta con supervisión técnica y planos arquitectónicos por lo que se observa las deficiencias constructivas.

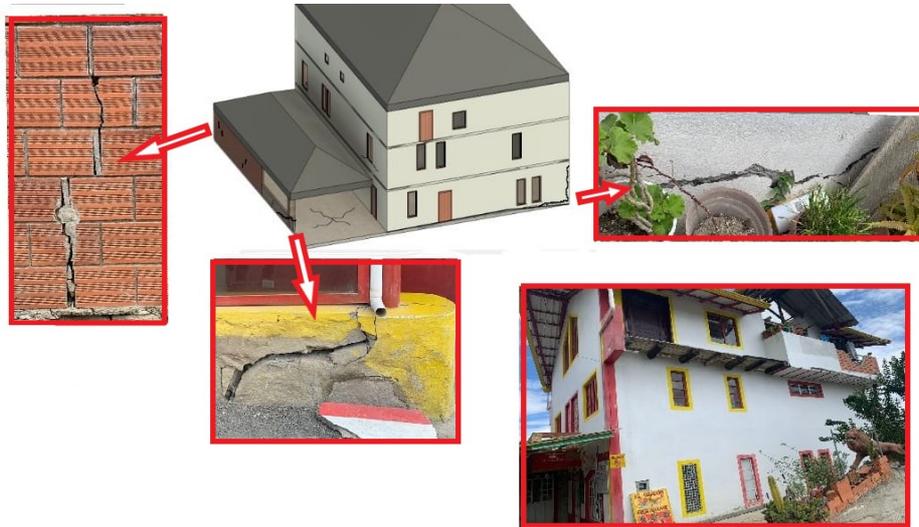


Figura 11. Casa 15. Detalle de fisuras en vivienda esquematizada.



Figura 12. Casa 16. Detalle de fisuras en vivienda esquematizada.

Daños Observados:

Se han constatado daños no estructurales en el edificio, tales como grietas que atraviesan las superficies de paredes y cielos rasos. Asimismo, se han identificado numerosas fisuras en los marcos de puertas y ventanas. Además, se ha observado una inclinación de la vivienda con dirección a la pendiente.

Casa. 17

Observación general:

La vivienda está ubicada en Zumbahuayco. Presenta un uso unifamiliar con dos niveles. Se puede apreciar una distribución eficiente y funcional en su diseño interior. La estructura, construida hace aproximadamente 15 años, se compone de ladrillos y bloques de concreto. La vivienda se encuentra posicionada en una ubicación libre a los lados dentro de la manzana y presenta un terreno con topografía inclinada. Construida con supervisión técnica y planos.

Daños observados:

Se han identificado daños no estructurales en la vivienda, como fisuras menores en las paredes, techos, así como problemas en acabados y mampostería.

Casa.18

Observación general:

La edificación llamada "AZOHAT" está ubicada en la calle García Moreno y Charles Darwin. De propiedad gubernamental, primeramente, concebida como una pequeña escuela de un nivel, actualmente se la usa una organización pública. La estructura, construida hace aproximadamente 20 años. La calidad de construcción es de calidad media – baja. No se pueden contar con los planos arquitectónicos. La edificación se encuentra posicionada en una ubicación esquinera dentro de la manzana y presenta un terreno con topografía poco inclinada. Se encuentra en proceso de rehabilitación.

Daños observados:

Se han registrado daños no estructurales en la edificación, como grietas en las superficies de paredes, cielos rasos y el piso, así como muchas fisuras en los marcos de puertas y ventanas, además de presentar deficiencias y desprendimientos en acabados y revestimientos. Posiblemente también sufra efectos de columna corta en uno de sus lados.



Figure 13. Casa 17. Detalle de fisuras en vivienda esquematizada.

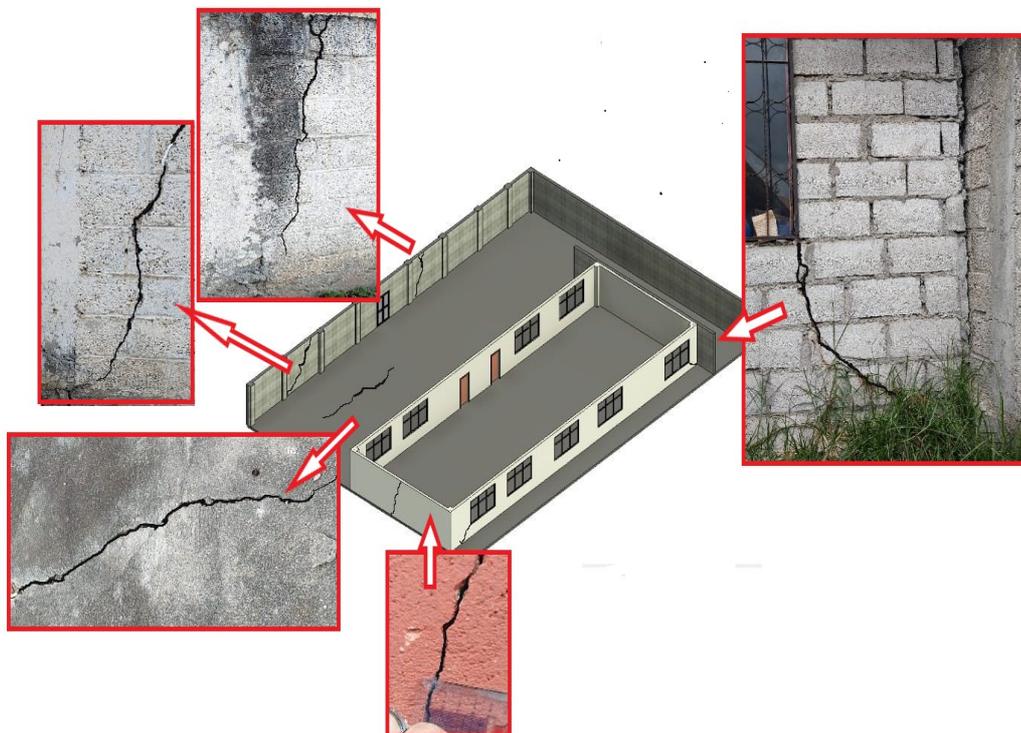


Figura 14. Casa 18. Detalle de fisuras en escuela esquematizada.

Casa. 19

Observación general:

La edificación del Distrito de Educación está ubicada en la calle Fray Vicente Solano y Av. 24 de mayo. La estructura, construida hace aproximadamente 70 años. La edificación cuenta de una parte moderna de hormigón y otra antigua de tapial, unidas entre sí. No se puede contar con los planos arquitectónicos. La edificación se encuentra posicionada en una ubicación esquinera dentro de la manzana y presenta un terreno con topografía inclinada

Daños observados:

Se han registrado daños en la parte antigua de la edificación, como inclinación de su pared frontal hacia la calle, así como desprendimiento de los recubrimientos de tapial.

Casa. 20

Observación general:

La vivienda de uso residencial está ubicada en Santa Martha de Javier Loyola. La estructura, construida hace aproximadamente 20 años. La edificación construida de bloques de cemento y sin planos arquitectónicos, también presenta mucha humedad. Se encuentra ubicado en un terreno con una leve inclinación, libre de casas en ambos lados.

Daños observados:

Se han registrado daños importantes en paredes interiores, muros exteriores y gradas de concreto.

3.3. Análisis de datos

La Tabla 1 proporciona una síntesis de las viviendas analizadas en nuestro estudio. En ella, se presenta información sobre la descripción general de las estructuras, su estado actual y los problemas específicos identificados. Los detalles incluyen el número de niveles, el uso de la edificación, planos arquitectónicos, año de construcción y si hubo fallas estructurales y no estructurales.

Desde una perspectiva centrada en el análisis de las estructuras, la figura 16 revela que el sector de viviendas residenciales fue el más afectado, representando el 60% del total de estructuras evaluadas. Este sector destaca por exhibir una cantidad significativamente mayor de estructuras con grietas considerables en sus acabados y elementos no estructurales, en comparación con otros tipos de usos estructurales investigados en este estudio.



Figura 15. a) Falla a tracción originada por ausencia de columna confinante en la esquina de los muros, b) La falta de una columna de amarre ha generado una falla por tracción diagonal en la fachada, resultando en grietas severas y un significativo desplazamiento de las piezas rotas de esa pared, c) Colapso de parte del entepiso y el muro del nivel de suelo, d) Desprendimiento total de una columna que sostiene una puerta metálica, se evidencio ausencia de anclajes.

Tabla 1. Resumen de condiciones generales de las viviendas y edificaciones.

Uso, descripción y estado de la edificación											
#C	PC	SE	UP	NST	Cps	Dsvc	GTC	FC	DENE	DEE	P.A
1	4	11	Residencial	3	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI
2	1	41/42	Institucional	1	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NSPD
3	3	42	Residencial	2	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI
4	4	13	Residencial	2	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI
5	2	13/52	Educacional	2	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NSPD
6	4	13	Residencial	2	NO	NO	NO	NSPD	SI	NO	SI
7	1	52	Institucional	3	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO
8	1	52	Institucional	3	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO
9	2	42	Bodegas	1	NO	SI	NO	NSPD	SI	SI	SI
10	3	11	Comercial	5	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI
11	3	13	Residencial	2	NO	SI	NSPD	NSPD	SI	SI	NO
12	4	13	Residencial	3	NO	NO	SI	NSPD	SI	NO	NO
13	5	13	Residencial	2	NO	Leve	SI	NSPD	SI	SI	SI
14	5	13	Residencial	2	NO	Leve	NO	NO	SI	NO	SI
15	4	13	Residencial	3	NO	NO	NO	NSPD	SI	NSPD	NSPD
16	5	13	Residencial	3	NO	SI	NO	NSPD	SI	NSPD	NO
17	4	13	Residencial	2	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI
18	4	13	Comercial	1	NO	SI	NO	NSPD	SI	SI	NO
19	1	11/.52	Institucional	3	NO	SI	NO	NSPD	SI	SI	NSPD
20	2	11	Residencial	2	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI

Nomenclatura	
#C :	Número de casa
PC:	Periodo de construcción
SE:	Sistema Estructural
UP:	Uso predominante
NST:	Niveles sobre el terreno
Cps:	Colapso
Dsvc:	Desviación
GTC:	Grietas en el terreno circudante
FC:	Falla de la cimentación
DENE:	Daño en elementos no estructurales
DEE:	Daño en elementos estructurales
NSPD:	No se pudo determinar
DP:	Daño probable
PA:	Planos arquitectonicos

Sistema Estructural (SE)	
11	Pórtico de concreto
12	Muros estructurales
13	Sistemas duales
21	Mamposteria confinada
22	Mamposteria reforzada
31	Pórticos arriostrados
32	Pórtico no arriostrados
41	Pórticos y paneles de madera
42	Pórticos en madera y paneles en otros materiales
51	Muros de bahereque
52	Muros de tapia o adobe
Periodo de construcción (PC)	
1	Antes de 1960
2	1960 a 1985
3	1986 a 1999
4	2000 a 2011
5	A partir de 2012

Además, es evidente que un porcentaje considerable de las viviendas dañadas carece de un diseño profesional adecuado, lo que las hace especialmente susceptibles a las fuerzas sísmicas.

Para llevar a cabo el análisis de los datos basado en el tipo estructural, se procedió a realizar una clasificación, que se presenta en la Tabla 1 (SE). La figura 17, por su parte, ilustra la distribución de los daños según las categorías de tipo estructural. Se observa un número considerable de daños en estructuras de sistemas duales (compuestos por pórticos y muros); sin embargo, es importante destacar que la mayoría de estos daños no fueron de gravedad. Por otro lado, se evidencia que las

viviendas que sufrieron los mayores niveles de afectación fueron aquellas construidas de manera empírica y sin planos arquitectónicos. A partir de los datos, se puede observar que las estructuras hechas a base de tecnologías antiguas como bahareque y tapial son vulnerables ante fuerzas sísmicas, ya que por el mismo hecho del tiempo de construcción y falta de mantenimiento son más vulnerables ante sismos.

En la figura 18, se muestra la distribución de la base de datos en función del número de pisos de las estructuras. Es importante destacar que las estructuras de dos y tres niveles representaron el 80% de las afectaciones registradas. Sin embargo, esta prevalencia no se debe necesariamente a que estas estructuras sean más vulnerables, sino más bien a su mayor presencia en el área estudiada. Es relevante señalar que, aunque la mayoría de los daños ocurrieron en estructuras de dos niveles, en su mayoría no alcanzaron un nivel de gravedad significativo. Además, se observa que, dentro de las estructuras dañadas de dos y tres niveles, existe un alto número de ellas que carecen de un diseño ingenieril adecuado o pertenecen a edificaciones antiguas. Estos factores contribuyen en parte a la explicación de los daños observados en estas categorías estructurales.

Figura 16. Número de estructuras dañadas de acuerdo con el uso de la estructura y al estado de daño presentado.

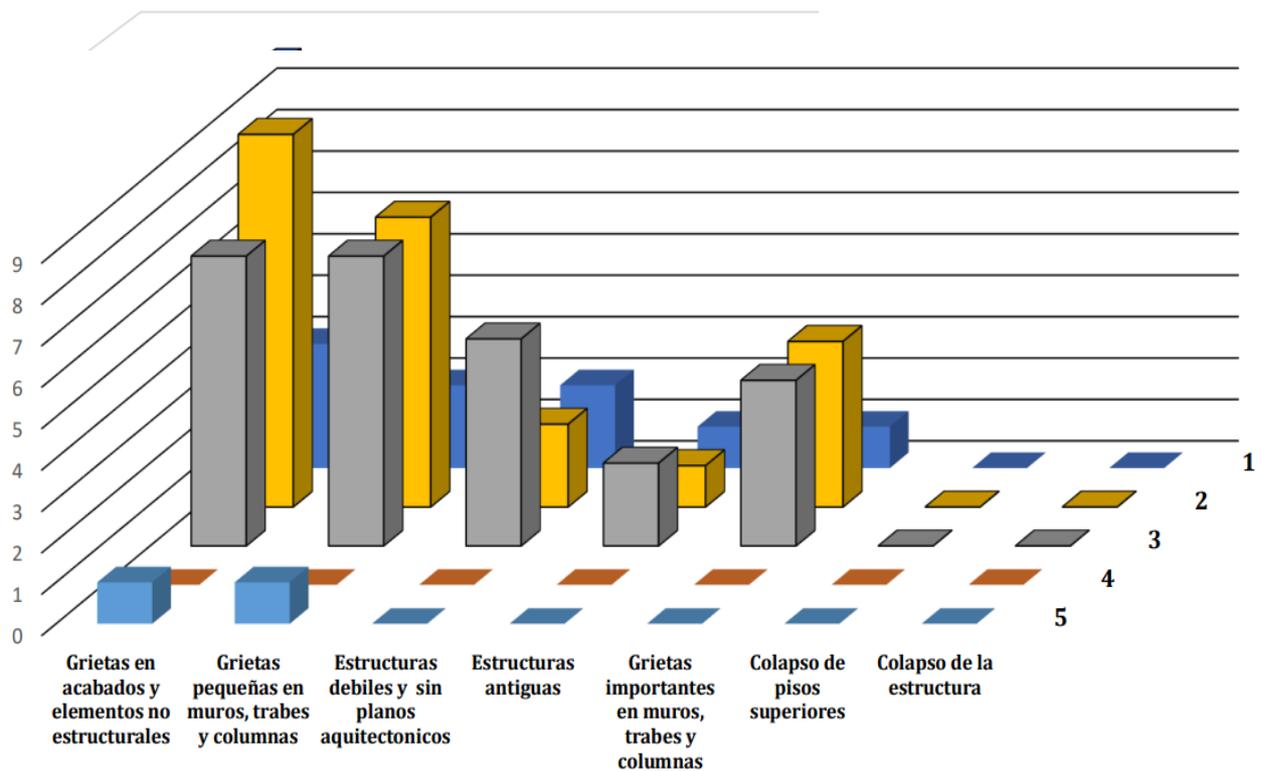


Figura 17. Distribución de daños por tipo estructural y estado de daño.

Fuente: Elaboración propia.

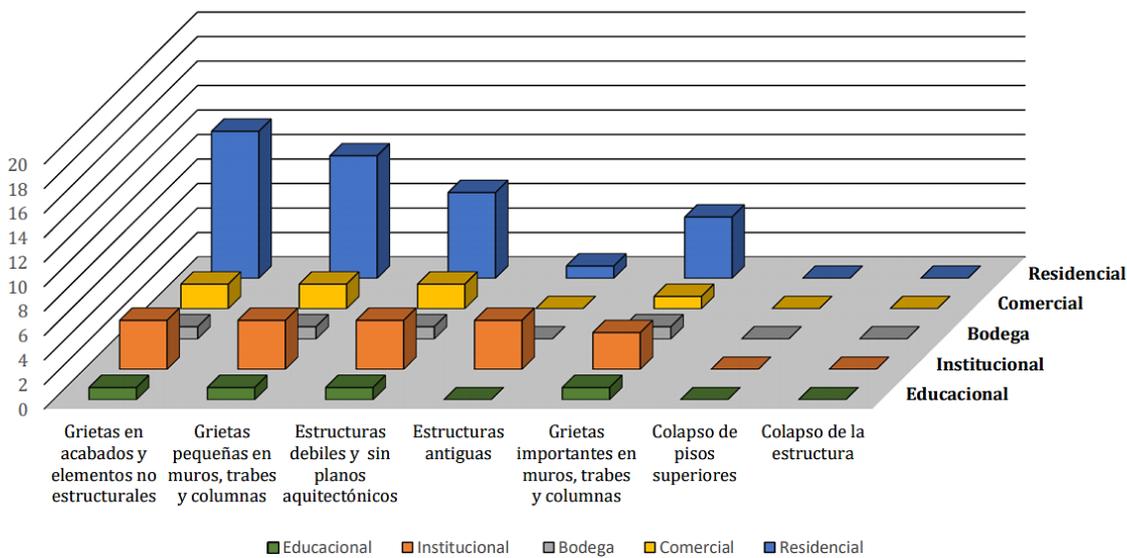


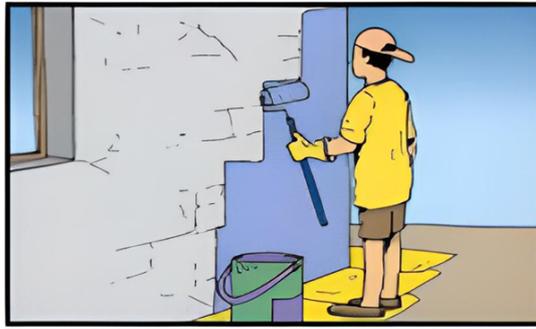
Figura 18. Distribución de estructuras dañadas por número de niveles y tipo de daño.

4. Propuesta de soluciones

La propuesta para los resultados de este estudio se centra en la evaluación de los daños observados en las viviendas analizadas, los cuales se han dividido en tres categorías principales: daños leves cosméticos, daños no estructurales y daños estructurales. Estas categorías han surgido como un medio eficaz para comprender la extensión y la naturaleza de los problemas encontrados en las edificaciones y para proporcionar una base sólida para la formulación de recomendaciones y soluciones pertinentes [5].

Daños Cosméticos (acabados) o no estructurales: Los daños leves cosméticos, como fisuras superficiales en las paredes o desprendimiento de revestimientos, son comunes en muchas de las viviendas evaluadas. Estos daños, aunque pueden no representar una amenaza inmediata para la integridad estructural, pueden tener un impacto significativo en la calidad de vida de los residentes y en el valor de la propiedad. Los daños no estructurales incluyen problemas eléctricos o sanitarios, grietas en superficies no portantes y daños en ventanas y puertas.

Para la casa número 1, 3, 4 y 17 el uso de la técnica llamada "Pañete" que se refiere a la aplicación de una capa de material de reparación en la superficie de elementos como concreto, mortero o unidades de mampostería. Esta técnica busca encubrir las grietas que puedan haberse desarrollado en la superficie de las estructuras como resultado del evento sísmico. El propósito fundamental de este recubrimiento es doble: en primer lugar, mejorar la estética del muro dañado, en segundo lugar, proporcionar una barrera adicional efectiva para prevenir la infiltración de agua en el interior de la pared [7].



Fuente: AIS. [5]

Figura 19. Pared intervenida con una capa de material de reparación.

Los revestimientos superficiales pueden desempeñar un papel eficaz en la prevención de la infiltración de agua a través de las grietas presentes en muros exteriores. Sin embargo, es importante destacar que estos materiales resultan apropiados únicamente en el caso de grietas inactivas. Las grietas inducidas por eventos sísmicos, por lo general, son consideradas inactivas, lo que significa que su amplitud no varía con el tiempo [7]. En nuestro medio, contamos con productos disponibles que brindan soluciones para los daños observados [8,9].



Fuente: AIS. [5]

Figura 20. Forma de aplicación de la mezcla de concreto o mortero con fibras de reparación.

Si las fisuras se originaron debido a la contracción, cambios de temperatura u otras razones, este enfoque no resultará eficaz. Por lo tanto, es crucial asegurarse de que la grieta haya sido provocada por un incidente singular.

Para otras casas que presentaron fisuras más notables y desprendimiento de juntas y uniones se aconseja para las grietas una inyección con epóxidos.

Reparación cosmética: Reparación de juntas de mortero o rejuntado.

La restauración de las juntas de mortero implica quitar una parte de la capa superficial de las juntas de mortero (entre 5 y 10 mm) en la estructura y luego rellenarlas con mortero fresco. Este proceso tiene como objetivo parcialmente restablecer las juntas de mortero en la estructura para mejorar la adhesión y resistencia entre los bloques de piedra. La aplicación de esta técnica se lleva a cabo en ambos lados de los paneles utilizando un mortero premezclado de cal hidráulica y arena.

Antes de aplicar el nuevo mortero, las juntas originales se eliminan utilizando un martillo cortante eléctrico y un cincel. Las áreas de extracción se saturan previamente con agua, y la aplicación del

mortero fresco se realiza en una o dos capas, según el grosor necesario para la ejecución del proceso [10].

Reparación de grietas con inyección de epóxicos.

El método de inyección de grietas implica la aplicación de un agente de fijación estructural en las grietas de las viviendas del cantón Azogues. Este proceso tiene como objetivo rellenar las grietas y mejorar la cohesión entre las piezas de mampostería. En el análisis post-sismo realizado, se observó que algunas casas en Azogues presentaban problemas cosméticos relacionados con este procedimiento. La elección de materiales y métodos para la inyección de grietas varía según los requisitos específicos. En muros de mampostería reforzada, suele utilizarse la inyección a presión de epoxi en las grietas. Por otro lado, en muros de mampostería con piezas huecas, se requiere una inyección a presión muy baja, apenas la necesaria para llenar la junta de unión entre las piezas [6].

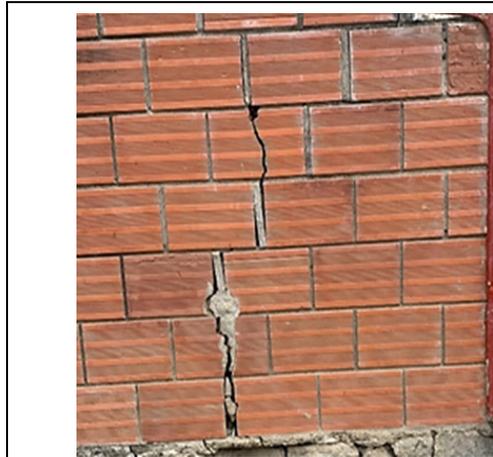


Figura 21. Pared de la vivienda 13



Figura 22. Reparación de grietas con epóxicos

Daños Estructurales:

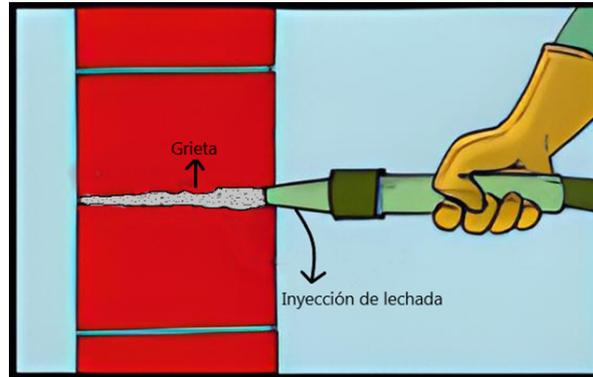
Al realizar el análisis de las estructuras en estudio, se han identificado una variedad de problemas que impactan significativamente la integridad de las edificaciones. Entre los daños más destacados, se evidencian grietas considerables en muros, especialmente en áreas cercanas a las ventanas. Es relevante señalar que la mayoría de las viviendas más afectadas presentan características constructivas artesanales, lo que se traduce en problemas inherentes a la configuración de sus plantas, el número de niveles, así como la calidad de los materiales y las técnicas de construcción empleadas.

Reparación estructural: Inyección de grietas con lechada de cemento

Las fisuras que se manifiestan a lo largo de las juntas de mortero en muros de mampostería, ya sea sin refuerzo o confinada, con desplazamientos horizontales en el plano del muro, pueden remediarse mediante la aplicación de inyecciones de lechada en el interior de la fisura. Este procedimiento implica la saturación completa de la fisura con un material que se adhiere de manera eficaz a la estructura de mampostería. La lechada no solo rellena la fisura, sino que también ocupa los vacíos en el muro, incluyendo aquellos en el cuello de la junta.

Si la capacidad de adhesión de la lechada es al menos equivalente a la del mortero original, el muro reparado mantendrá o incluso superará la resistencia y rigidez del muro original antes de la

ocurrencia del daño. Este proceso se aplica específicamente para la reparación de grietas con un espesor igual o mayor a 1,5 mm utilizando lechadas, así como para el relleno de cavidades en albañilería mediante mortero de cemento. La aplicación de la inyección de lechada o mortero de cemento facilita la recuperación del monolitismo en la estructura.



Fuente: AIS. [5]

Figura. 23. Inyección en fisura con lechada fluida

Daños estructurales: Fallas en muros perimetrales, cercos y muros interiores

Los muros, en nuestro análisis, se revelan como elementos críticos, situación atribuible a la falta de atención habitual por parte de diseñadores, constructores y maestros de obra. Este menosprecio puede resultar especialmente perjudicial, considerando que estos muros de cerramiento constituyen la envoltura exterior de las viviendas. En particular, nuestro estudio ha identificado la vivienda número 18 como un caso ejemplar que exhibe problemas significativos en estos elementos. La urgencia de abordar detalladamente estos componentes radica en su potencial riesgo, especialmente cuando el colapso afecta las vías de escape y áreas críticas como los centros educativos.

Proceso de reparación para viviendas con techos livianos [11]

1. Desmontar la estructura liviana del techo, que incluye la cobertura y las vigas de madera, o elevar la totalidad del techo si es posible, utilizando gatos hidráulicos o postes de encofrado tipo Acrow. Elevarlo a una altura adecuada por encima de los muros para facilitar el trabajo cómodo.
2. Construir la viga collar encima de todos los muros, teniendo cuidado de que las varillas de acero queden firmemente interconectadas con las otras vigas, así como entre sí y con la armadura de las columnas que suben.
3. Llenar las vigas collar conforme al ancho del muro o de columna.
4. Reinstalar la cubierta en caso de que se haya retirado o reposicionar cuidadosamente todo el techo sobre la nueva viga collar. Asegurar las vigas de madera en sus extremos mediante la viga collar, utilizando abrazaderas u otros dispositivos similares.

En la figura 24, se evidencia el deterioro de un muro perimetral en la inmueble público "Azohat", destinado como centro de ventas, pero previamente concebido como una pequeña escuela. Al dialogar con el responsable del lugar, señaló que la tercera columna desde la alle ya presentaba daños desde el sismo anterior del 16 de abril, resultando en una inclinación hacia el exterior de la columna. A este problema se suman la ausencia de anclajes y posiblemente la falta de confinamiento. La conjunción de estos elementos condujo al colapso del muro durante el sismo del 18 de marzo.

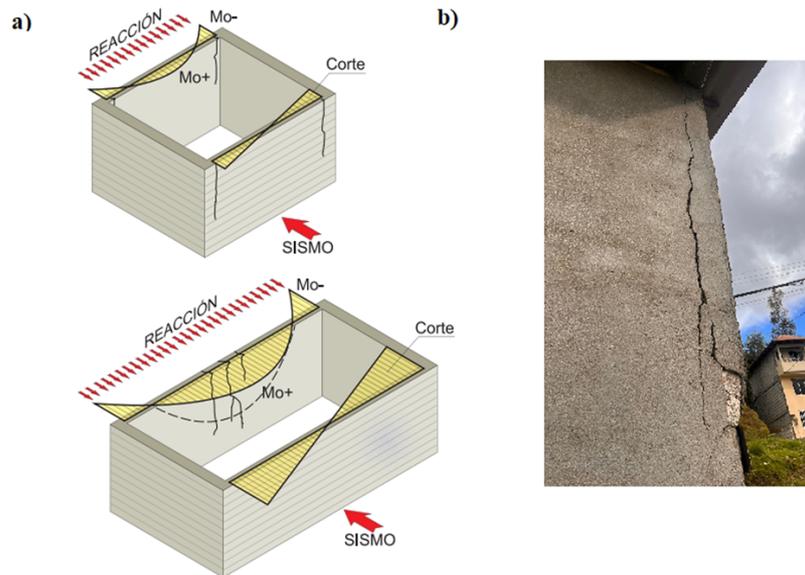


Figura 24. a) Comportamiento del muro frente a un sismo, b) Fisura en muro de distancia 5 m entre columnas, casa #8

Proceso de reparación [11]

1. Demoler el muro inestable (rayado) y retirar las piezas sueltas de ladrillo. Reconstruir el muro dejando espacio en su punto medio para colocar una nueva columna.
2. Agregar una columna en su punto medio si la separación entre los refuerzos existentes fuera de más de 6 m.
3. Construir una viga collar en los bordes superiores de los muros.
4. La creación artística de cómo quedaría el muro de la figura 24.d después de ser reforzado, se muestra en la figura 24.c

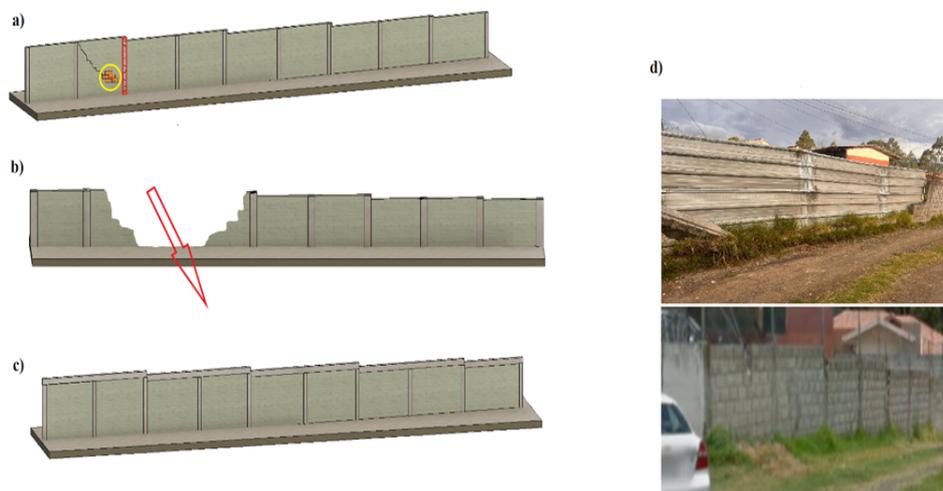


Figura 25. a) El muro, previo a su colapso, ya presentaba deficiencias derivadas de sismos previos. A estas irregularidades se añade el hecho de que algunos bloques del muro fueron retirados y posteriormente reemplazados con bloques de otro tipo, de manera asimétrica, b) El colapso del muro se produjo hacia el exterior del inmueble, c) Solución estructural para este caso, d) Se incluyen imágenes reales que documentan el estado del muro después y antes del colapso.

5. Conclusiones

En conclusión, después de la investigación realizada se encuentra que las edificaciones evaluadas en el área urbana presentan exclusivamente deficiencias leves de carácter no estructural. Esto por la exigencia de la urbe, donde se cuenta con mayor control técnico por lo que se observan daños menores. Por lo contrario, en lo que respecta a las viviendas ubicadas en zonas rurales, se ha constatado las repercusiones de la insuficiente supervisión, la carencia de personal técnico calificado, la falta de planos arquitectónicos e ingenieriles y la construcción empírica.

Las estructuras de uso residencial constituyen el 60% de la muestra; dentro de este porcentaje, el 40% corresponde a viviendas ubicadas en zonas rurales. En estas viviendas, se han detectado daños más significativos en elementos no estructurales, como fisuras en el pañete, daño en las juntas de mortero, fisuras diagonales en muros y afectaciones en los muros alrededor de las ventanas. En lo que respecta a la parte estructural, estas mismas viviendas presentaron daños más severos, tales como la inclinación de las estructuras, fisuras de magnitud superior a 4 mm y grietas en paredes y losas; cabe mencionar que algunas de estas casas fueron construidas de manera empírica.

La ausencia de un técnico calificado que garantice un adecuado proceso constructivo contribuye al deterioro prematuro de las viviendas. La falta de especificaciones precisas conduce a la utilización de materiales de baja calidad y técnicas de construcción inadecuadas, lo que reduce la vida útil de las estructuras y aumenta los costos de mantenimiento a largo plazo.

La investigación reveló que, muchas de las viviendas presentaban deficiencias constructivas, agravadas por eventos sísmicos anteriores. Se identificaron problemas como falta de confinamiento, falta de compactación o preparación del suelo, ausencia de anclajes y modificaciones estructurales asimétricas, los cuales contribuyeron al fracaso de algunos muros durante el sismo.

En respuesta a estos problemas, se propusieron soluciones específicas para abordar las vulnerabilidades identificadas. Estas soluciones incluyeron la implementación de vigas collar, es decir confinamiento adecuado de mampostería, respetando la adecuada estructuración.

Ventanas grandes generan muros débiles, se concentran tensiones en las esquinas, por ello se observa fisuras en estas zonas en las viviendas, procurar no tener ventanales grandes y evitar columnas cortas. Por otra parte, la calidad de materiales de mortero o concreto usado en la vivienda afectan a la vida útil y al rendimiento estructural de la edificación, por ello es importante el control de calidad de materiales en el proceso constructivo.

Evitar paredes muy esbeltas, sea por altura o por longitud, la recomendación de la NEC es evitar paredes sueltas, por ello se recomienda usar conectores de pared hacia los pórticos de la edificación.

El estudio resalta la importancia de abordar de manera integral las deficiencias estructurales en las viviendas para mejorar su resiliencia sísmica. Las lecciones aprendidas de este análisis post sismo en el cantón Azogues proporcionan información para futuros proyectos de ingeniería y para la implementación de medidas preventivas en comunidades vulnerables a eventos sísmicos.

Contribución de autores: KR elaboración de la encuesta en campo, levantamiento de información, edición general. XN autor intelectual de la investigación, revisión de procesos, revisión de manejo

de datos y revisión final de documento. PI Colaboración en revisión de documento, colaboración con análisis de fotografías y daños observados.

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio (KR).

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- [1] Instituto Geofísico Ecuatoriano, "Informe sísmico especial NO. 2023-003," Mar. 2023. Accessed: Aug. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/informes-de-situacion-sismo-balao-guayas-18-03-2023/>
- [2] G. Solano, "Strong earthquake kills at least 14 in Ecuador, 1 in Perú," Quito, Mar. 18, 2023.
- [3] Secretaria de Gestión de Riesgos, "Informes de Situación – Sismo 6.5 – Balao, Guayas (18/03/2023)."
- [4] J. Pérez, J. Aguirre, and L. Ramírez, "Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: lecciones aprendidas en México," *Scielo*, vol. 60, no. 0036-3634, 2018.
- [5] Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático IDIGER, *Guía técnica para inspección de edificaciones después de un sismo*, Cuarta Edición. Bogotá, 2018.
- [6] E. Vargas, "Análisis de la calidad constructiva de las estructuras de hormigón armado en edificios de propiedad privada que se encuentran en construcción dentro del cantón Azogues," Universidad Católica de Cuenca, Azogues, 2020.
- [7] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, "Rehabilitación de las viviendas," in *REHABILITACIÓN SISMO RESISTENTE DE VIVIENDAS DE UNO Y DOS PISOS*, Bogotá.
- [8] Sika Building Trust, "Controlar o disminuir las fisuras en concretos o morteros frescos – SIKAFIBER." Accessed: Sep. 05, 2023. [Online]. Available: <https://ec.sikaguia.com/producto/controlar-o-disminuir-las-fisuras-en-concretos-o-morteros-frescos-sikafiber-ad/>
- [9] Sika Building Trust, "Necesita un mortero que no se desprenda – SIKALIGANTE." Accessed: Sep. 05, 2023. [Online]. Available: <https://ec.sikaguia.com/producto/necesita-un-mortero-que-no-se-desprenda-sikabondpva/>
- [10] G. Araiza, "Reparación y refuerzo de paredes de obra de fábrica. Estudio experimental de la respuesta ante tensiones de corte.," Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2005.
- [11] Consultores PNUD/Perú, J. Kuroiwa Horiuchi, and J. Salas Peña, *Manual para la Reparación y Reforzamiento de Viviendas de Albañilería Confinada Dañadas por Sismos*. Lima: GMC Digital S.A.C, 2009.



© 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>