

Analysis of seismic vulnerability in confined masonry homes using the AIS method in the El Triunfo sector, Cajamarca

Ayay Teran Mary Judith, Bach.¹; Chapoñan Bereche Rosa Yesenia, Bach.²; Villanueva Bazán Henry Josué Mgs³

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00298783@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, N00284015@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, henry.villanueva@upn.edu.pe

Abstract– This study focuses on the analysis of seismic vulnerability in confined masonry homes, using the AIS method in the El Triunfo sector, Cajamarca, analyzing the geometric, constructive, structural, foundation, environment and soil aspects. The methodology included a qualitative approach of a descriptive study and a non-experimental design, the techniques used for data collection were direct observation and field work, applying the AIS method sheet as an instrument. The results of the investigation were carried out using the ETABS software where it was verified that they do not fully comply with the E.030 and E.070 standards and the Microsoft Excel program in which it was verified that the number of walls in two directions, The quality of the mortar joints, the confined and reinforced walls and the mezzanine are the most critical aspects of the 36 homes evaluated. Therefore, the conclusion was reached that 80% represents a level of medium vulnerability with a degree that ranges between 47.78% and 66.11% and 20% presents a high vulnerability with a degree that exceeds 73.43%, which represents a considerable risk due to the probability of collapse during an earthquake.

Keywords-- Seismic vulnerability, housing, confined masonry, AIS method.

Análisis de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de albañilería confinada mediante el método AIS en el sector El Triunfo, Cajamarca

Ayaz Teran Mary Judith, Bach.¹; Chapoñan Bereche Rosa Yesenia, Bach.²; Villanueva Bazán Henry Josué, Mgs³

¹Universidad Privada del Norte, Perú, N00298783@upn.pe

²Universidad Privada del Norte, Perú, N00284015@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, henry.villanueva@upn.edu.pe

Resumen– Este estudio se enfoca en el análisis de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de albañilería confinada, mediante el método AIS en el sector El Triunfo, Cajamarca, analizando los aspectos geométricos, constructivos, estructurales, cimentación, entorno y suelo. La metodología contempló un enfoque cualitativo de estudio descriptivo y un diseño no experimental, las técnicas utilizadas para la recolección de datos fueron la observación directa y el trabajo de campo, aplicándose como instrumento la ficha del método AIS. Los resultados de la investigación se realizaron utilizando el software ETABS en donde se verificó que no cumplen a cabalidad con la norma E.030 y la E.070 y el programa Microsoft Excel en el cual se comprobó que la cantidad de muros en dos direcciones, la calidad de juntas de pega en mortero, las paredes confinadas y reforzadas y el entrepiso son los aspectos más críticos de las 36 viviendas evaluadas. Por ello se llegó a la conclusión, que un 80% representa un nivel de vulnerabilidad media con un grado que oscila entre 47.78% y 66.11% y un 20% presenta una vulnerabilidad alta con un grado que supera el 73.43%, lo que representa un riesgo considerable ante la probabilidad de colapso durante un sismo.

Palabras clave– Vulnerabilidad sísmica, viviendas, albañilería confinada, método AIS.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de albañilería confinada constituye una preocupación significativa en las regiones propensas a terremotos. Este tipo de construcción es ampliamente utilizado debido a su costo accesible y facilidad de edificación, pero presenta limitaciones estructurales frente a movimientos sísmicos intensos [1]. La falta de cumplimiento de normas de diseño y la escasa supervisión técnica incrementan el riesgo de colapso durante un sismo. Por ejemplo, las viviendas con materiales deficientes o técnicas constructivas inadecuadas suelen fallar ante eventos sísmicos de moderada intensidad [2].

Desde el punto de vista técnico, la vulnerabilidad sísmica se relaciona estrechamente con una calidad constructiva y los estándares de diseño empleados. Por eso se señala que las viviendas de albañilería confinada suelen ser edificadas empíricamente, sin considerar normativas actualizadas, lo que aumenta su susceptibilidad a fallos estructurales. El método AIS, basado en una evaluación detallada de parámetros estructurales, ofrece una herramienta integral para evaluar y clasificar el riesgo, permitiendo priorizar intervenciones en

comunidades de alta peligrosidad [3]. En este contexto, resulta imperativo analizar las condiciones de las viviendas en el sector El Triunfo, donde las prácticas constructivas tradicionales no siempre cumplen con las normas sísmicas modernas, exponiendo a la población a daños significativos en caso de sismos. Existen diversos factores que provocan que una vivienda sea más vulnerable, entre los cuales destaca la falta de supervisión técnica durante la construcción, muchas edificaciones se ejecutan sin la intervención de profesionales, lo que incrementa el riesgo de errores estructurales como cimentaciones inadecuadas o columnas mal armadas, a esto se suma el uso de materiales de baja calidad, que comprometen la resistencia, ductilidad y durabilidad de la estructura, aspectos fundamentales para soportar y disipar la energía sísmica sin colapsar.

En el sector El Triunfo, Cajamarca, la mayoría de viviendas son construidas informalmente, en las cuales no existe una supervisión técnica durante el proceso de construcción y mucho menos se cumple con las normas de diseño indicadas, lo que incrementa el riesgo de colapso durante un evento sísmico. Por ende, surge la siguiente interrogante: ¿Qué tan vulnerables son las viviendas de albañilería confinada en el sector El Triunfo - Cajamarca, frente a eventos sísmicos evaluado mediante el método AIS?

La presente investigación tiene como objetivo principal, determinar el nivel y grado de vulnerabilidad sísmica en las viviendas de albañilería confinada mediante el método AIS en el sector El Triunfo, Cajamarca.

La pregunta de investigación también llevó a plantearse la siguiente hipótesis: La evaluación de la vulnerabilidad sísmica en las viviendas de albañilería confinada del sector El Triunfo, Cajamarca, empleando el método AIS, revela resultados que indican niveles medios y altos de vulnerabilidad sísmica.

Como antecedentes teóricos citamos algunas investigaciones, entre las cuales se describen.

El trabajo de investigación titulado “Grado De Vulnerabilidad Sísmica Según Características Constructivas De Viviendas De Albañilería Confinada, Bajo Enfoque De La Metodología AIS, AA. HH El Progreso - Carabayllo, Lima 2019”, su objetivo es establecer el grado de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de albañilería confinada analizadas, bajo el enfoque de la metodología AIS en el AA. HH. El Progreso I Sector, distrito de Carabayllo, en el año 2019, la

referida metodología contempló las siguientes características constructivas evaluadas: aspectos geométricos, aspectos constructivos, aspectos estructurales, cimentación, entorno y suelo. La muestra dirigida, son 21 viviendas de albañilería confinada. Se utilizó como instrumento de recolección de datos, fichas de observación y encuesta, el estudio es de carácter cuantitativo con alcance descriptivo, sostiene un diseño no experimental - transversal. En los resultados utilizaron el software SPSS V.24 y Microsoft Excel, se determinó que la cantidad de muros en las dos direcciones, calidad de las juntas de pega en mortero, vigas de amarre o corona y muros confinados y reforzados, de las viviendas de albañilería confinada, son los factores más vulnerados. Se llegó a la conclusión, que existe un grado de vulnerabilidad baja de 0%, media de 28.57% y alta de 71.43%, en las viviendas de albañilería confinada analizadas, bajo el enfoque de la metodología AIS. [4].

En el estudio titulado “Análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas con el método AIS en el Jirón Progreso, Coishco, Santa, Ancash, 2021” el objetivo de su investigación fue determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica en las viviendas autoconstruidas del Jirón Progreso, Coishco, Santa, Ancash, mediante la aplicación del método AIS. La metodología empleada fue de tipo cuantitativo con un diseño no experimental descriptivo. La población consistió en 30 viviendas, de las cuales se seleccionó una muestra de 10 para análisis mediante observación directa, fichas de verificación, ensayos de esclerometría y estudios de suelo. Entre los resultados, se encontró que un 50% de las viviendas presentaron vulnerabilidad sísmica moderada, el 30% baja y el 20% alta. En el análisis espectral con software ETABS 2016, se identificaron puntos críticos en el eje X con un valor de 0.394 en los tiempos de 0.35 y 0.40 segundos. Finalmente, se llegó a la conclusión que los principales factores de vulnerabilidad son la baja calidad de los materiales y la falta de reforzamiento estructural, proponiendo un diseño modelo para mitigar los riesgos sísmicos en el área de estudio [5].

En el trabajo de investigación “Evaluación de la vulnerabilidad estructural de viviendas informales: caso de estudio barrio Mirador de Corinto Soacha” el objetivo de su investigación fue evaluar la vulnerabilidad estructural de viviendas informales en el barrio Mirador de Corinto, municipio de Soacha. La metodología combinó los métodos AIS y IVEM, aplicados sobre 400 viviendas, representando el 44.8% de la población objetivo, de las cuales 30 fueron evaluadas con mayor detalle. Para la recolección de datos se emplearon encuestas estructuradas y levantamientos geométricos. Los resultados destacaron que un 69% de las edificaciones exponen una vulnerabilidad moderada, mientras que un 30% eran muy vulnerables y el 2% poco vulnerables. El índice de vulnerabilidad osciló entre 5.64 y 5.98 para las viviendas, alcanzando un máximo de 6.57 en los casos más críticos. Se concluyó que la implementación de reforzamientos estructurales específicos puede reducir significativamente la vulnerabilidad sísmica de las viviendas evaluadas, resaltando la eficacia de dichas metodologías aplicadas [6].

En el trabajo “Análisis de vulnerabilidad sísmica aplicando el Método de Índice de Vulnerabilidad FEMA P-154 y Método AIS en viviendas del sector 5 del AA. HH Defensores de la Patria, Ventanilla, Callao, 2023”. Se centra en analizar la susceptibilidad sísmica de las construcciones en el sector 5 del AA. HH. Defensores de la Patria del distrito de Ventanilla, Callao. La metodología adoptó un enfoque mixto, descriptivo y de diseño no experimental transversal. La población estuvo compuesta por 211 edificaciones, mientras que la muestra probabilística incluyó 137 viviendas seleccionadas con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. Las técnicas empleadas incluyeron análisis documental, observación directa y estadística descriptiva, utilizando fichas de evaluación FEMA P-154 y AIS como instrumentos principales. Entre los resultados, el método FEMA P-154 reveló que el 48.2% de las viviendas presentan un nivel de vulnerabilidad sísmica medio, mientras que el método AIS identificó que un 37.7% de las edificaciones comparten esta misma categoría. Se concluye que el método AIS es más conservador al considerar un rango mayor de factores estructurales y geométricos. Finalmente, la validación de resultados mediante juicio de expertos respaldó la efectividad de los métodos aplicados en el análisis [7].

La investigación “Análisis de vulnerabilidad sísmica de edificaciones unifamiliares de la urbanización Monserrate-Trujillo mediante el método AIS” su objetivo es evaluar la vulnerabilidad sísmica de cinco viviendas unifamiliares en la Urbanización Monserrate-Trujillo, utilizando el método AIS. La metodología empleada fue aplicada, con un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental. La muestra consistió en cinco viviendas seleccionadas de manera intencionada. Entre las técnicas empleadas, se incluyó el análisis estructural mediante el software ETABS y ensayos de esclerometría para determinar la resistencia a la compresión del concreto. Los instrumentos utilizados fueron fichas de verificación y herramientas de modelado estructural. Como resultados, se determinó que tres viviendas presentaban derivas de entepiso dentro de los parámetros normativos, mientras que las otras dos mostraron fallas debido a modificaciones estructurales. Además, el ensayo de esclerometría reveló resistencias promedio de 244.38 kg/cm² y 290.15 kg/cm² en diferentes puntos estructurales. Finalmente, se concluyó que el nivel de vulnerabilidad sísmica predominante en la urbanización fue medio, debido a deficiencias en el diseño y construcción informal de las edificaciones.[8].

A continuación, se expone la explicación de ciertos términos fundamentales que respaldan la investigación.

Vulnerabilidad sísmica: La vulnerabilidad es un elemento interno de riesgo de un sujeto, objeto o sistema, que se encuentra expuesto a una amenaza, que significa el nivel de posibilidad de ser afectados por dicha amenaza [9].

Albañilería confinada: Este tipo de sistema constructivo se basa en tener una combinación entre muros portantes y elementos estructurales [10].

Sismo: Perturbaciones súbitas que originan vibraciones o movimientos en el suelo [11].

Colapso: La estructura ha perdido gran parte o toda su rigidez y su resistencia de diseño [12].

Método AIS

Es una metodología que se vino desarrollando por la AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica), teniendo como principal objetivo calcular el nivel de vulnerabilidad sísmica en edificaciones, dicha metodología está basada, en seis aspectos que se enfocan en calificar con criterios de observación y comparación.

A. Aspectos Constructivos

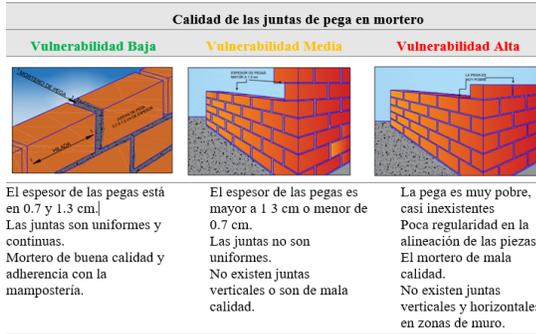


Figura 1: Calidad de las juntas de pega en mortero

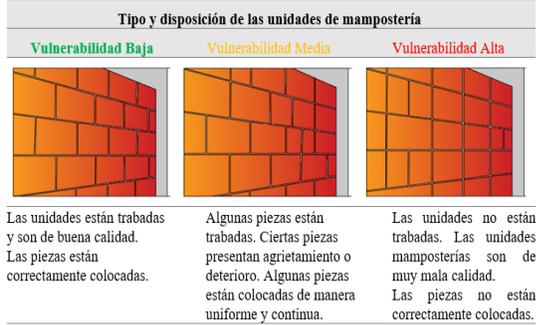


Figura 2: Tipo y disposición de las unidades de mampostería

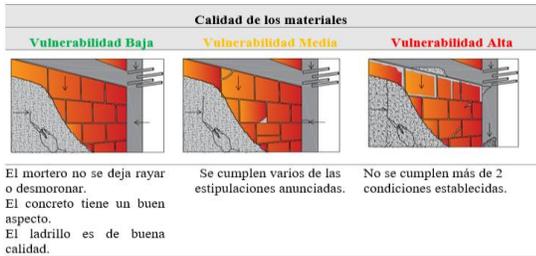


Figura 3: Calidad de los materiales

B. Aspectos Estructurales

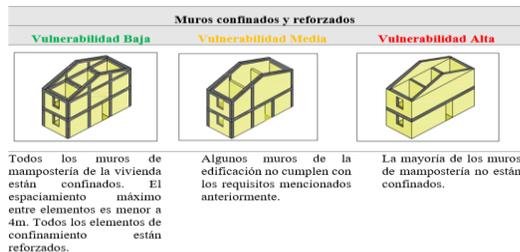


Figura 4: Muros confinados y reforzados

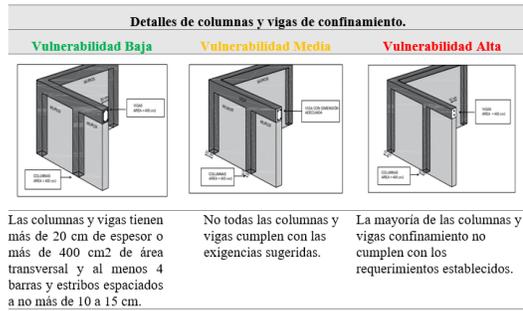


Figura 5: Detalles de columnas y vigas de confinamiento.

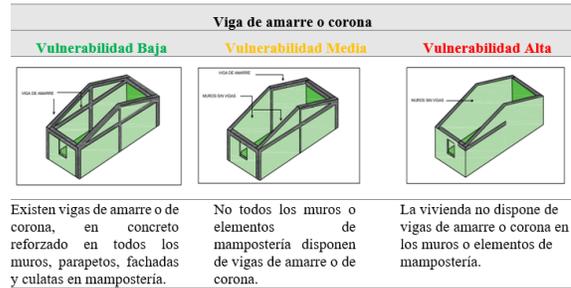


Figura 6: Viga de amarre o corona.

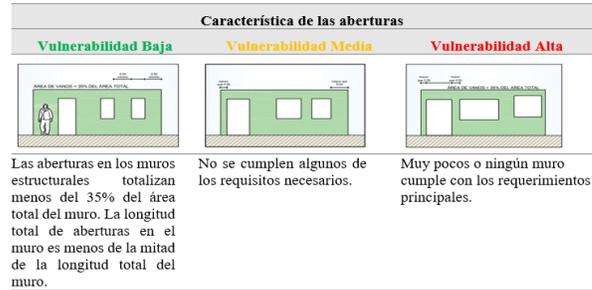


Figura 7: Característica de las aberturas.

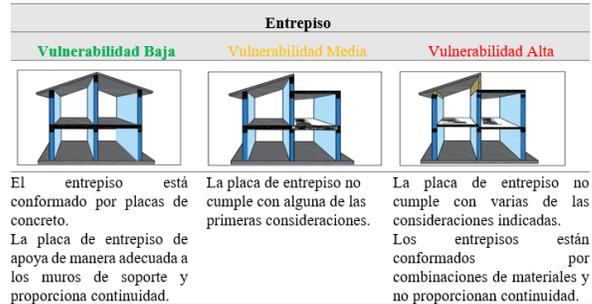


Figura 8: Parámetro de la vulnerabilidad sísmica, entrepiso.

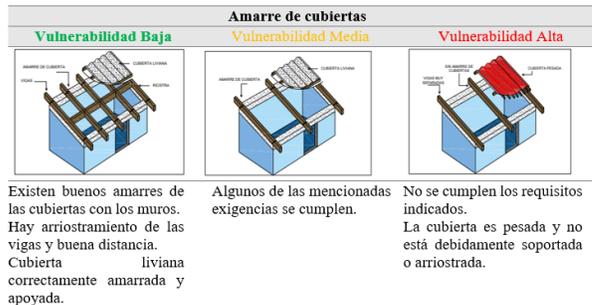


Figura 9: Amarre de cubiertas

C. Aspectos de Cimentación

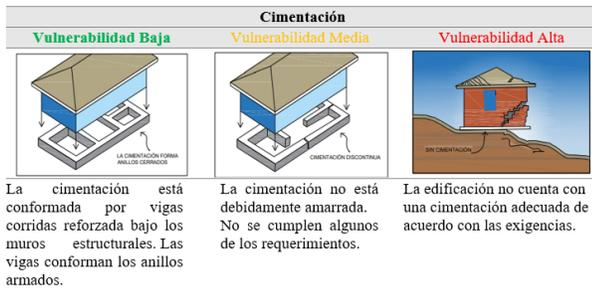


Figura 10: Parámetro de la vulnerabilidad sísmica, Cimentación

D. Aspectos de Suelo

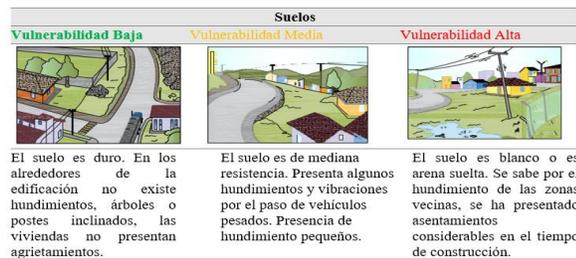


Figura 11: Parámetro de la vulnerabilidad sísmica, suelos

E. Aspectos de Entorno



Figura 12: Parámetro de la vulnerabilidad sísmica, entorno

• Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente

La norma técnica de Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente establece que toda edificación y cada una de sus partes debe ser diseñada y construida para resistir las solicitaciones sísmicas prescritas en esta Norma, siguiendo las especificaciones de las normas pertinentes a los materiales empleados [13].



Figura 13: Mapa de zonificación sísmica del Perú - Norma E.030

Según la Norma E.030 de diseño sismorresistente, el departamento de Cajamarca se encuentra clasificado principalmente en **Zona 3**, que corresponde a una moderada sismicidad.

Desplazamientos laterales admisibles. El máximo desplazamiento relativo de entrepiso no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la tabla:

Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Figura 14: Límites de distorsión del entrepiso

• Norma Técnica E.070 Albañilería

Según el RNE E.070 de Albañilería, la albañilería confinada es “Albañilería reforzada con elementos de concreto en todo su perímetro”. Es decir, El confinamiento o reforzamiento en su perímetro son en los lados laterales, inferior y superior. Por lo general, en los lados laterales, el confinamiento es con las columnas; en el inferior, por la cimentación; y en el superior por una viga [14].

Densidad Mínima de Muros Reforzados. La densidad mínima de muros portantes a reforzar en cada dirección del edificio se obtendrá mediante la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Área de corte de los muros reforzados}}{\text{Área de planta típica}} = \frac{\sum Lxt}{A_p} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

II. METODOLOGÍA

A. Enfoque, diseño y tipo de investigación

Esta investigación tiene un enfoque cualitativo, que está orientado a reconstruir la realidad tal y como la observan los participantes del sistema social, de esta forma lograr una correcta interpretación de datos [15]. Es por ello, que se determinará la vulnerabilidad sísmica de las estructuras mediante el método AIS, analizando los seis aspectos establecidos en el Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismorresistente de viviendas de mampostería. El diseño que se emplea es de tipo no experimental, debido a que trabaja con hechos de experiencia directa no manipulados y se basa fundamentalmente en la observación [16]. Así que no se intercederá en las variables de estudio, estas serán observadas y analizadas en su estado original y sin alterar los datos recolectados.

El tipo de estudio es descriptivo, dado que se describirá las características sismorresistentes de las viviendas de albañilería confinada en el sector El Triunfo, Cajamarca, aplicando el método AIS el cual nos permitirá evaluar el nivel y grado de vulnerabilidad en la que se encuentra cada una.

B. Población y muestra

Para el presente estudio, la población finita, constituida por 95 viviendas de albañilería confinada ubicadas en el sector El Triunfo, perteneciente al departamento de Cajamarca, Perú.

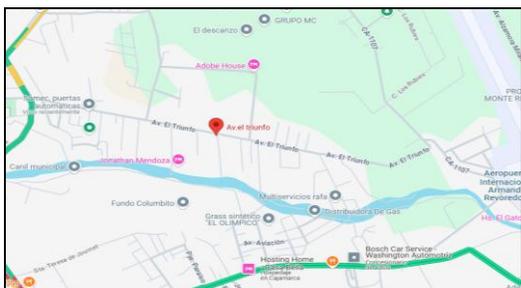


Figura 15: Lugar de estudio, sector El Triunfo

El muestreo utilizado en este trabajo investigativo es un muestreo probabilístico de método aleatorio simple el cual garantiza que cada vivienda tenga la misma oportunidad de ser seleccionada, asegurando la objetividad en la selección de las viviendas de albañilería confinada que formarán parte del estudio. Al definir la técnica que se empleará para obtener la muestra, la cual se obtiene con la siguiente fórmula:

Tabla 1: Cálculo del tamaño de muestra

Muestra de estudio	
$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{e^2(N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$	$n = \frac{1.96^2 \times 0.95 \times 0.05 \times 95}{0.1^2(95-1) + 1.96^2 \times 0.95 \times 0.05}$
n = 15.444	

Nota: El tamaño de muestra está definida por 36 viviendas de albañilería confinada correspondiente al sector El Triunfo.

Se obtuvo 15 viviendas como muestra, sin embargo, para obtener resultados más precisos la muestra de estudio será de **36 viviendas a evaluar**.

C. Técnicas, instrumentos de recolección y análisis de datos

Las técnicas de investigación consisten principalmente en la selección de datos para validar las disciplinas utilizadas en la indagación, con el fin de alcanzar una comprensión precisa de lo analizado. Esto implica contar con evidencias, pruebas y una serie de pasos que permite comprobar la hipótesis formulada [17]. Por esta razón, en este estudio se empleará la observación directa como técnica de recolección de datos, a esto le sumamos el trabajo de campo, debido a que se lleva a cabo en el mismo terreno donde acontece o se encuentra el objeto de estudio, el cual nos permitirá identificar, registrar y recolectar información de acuerdo con el propósito establecido. Los instrumentos empleados fueron una ficha de recolección de datos el cual está basado en una encuesta correspondiente al método AIS en donde se considera los seis aspectos que determinarán el nivel y grado de vulnerabilidad de cada vivienda, y una ficha de encuesta general con

información requerida de cada vivienda. Los datos adquiridos de la evaluación de las estructuras serán almacenados en una base de datos, tanto de manera virtual (documentos escaneados) como de manera física. Asegurando la integridad y accesibilidad de la información para poder revisarlos posteriormente. Para presentar los resultados se elaboró una ficha que resume la evaluación de cada una de las viviendas, dando como resultado su nivel y grado de vulnerabilidad, la información recolectada se procesó en el programa ETABS y Microsoft Excel para un resultado más confiable.

III. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos tras la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas del sector El Triunfo, Cajamarca, utilizando el método AIS. En este análisis se consideró factores como la antigüedad y la tipología de las edificaciones, así como los seis parámetros establecidos por el método, a partir de la recopilación de datos, investigaciones y cálculos realizados, determinando el grado y nivel de vulnerabilidad sísmica al que están expuestas las viviendas de la zona evaluada.

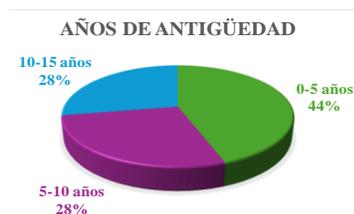


Figura 16: Distribución porcentual de la antigüedad.

Se observa que el 44% de las viviendas (16 en total) tienen una antigüedad de 0 a 5 años, mientras que el 28% (10 viviendas) se encuentra en el rango de 5 a 10 años, y otro 28% corresponde a viviendas con 10 a 15 años de antigüedad.

Asimismo, se identificó que el 65% de las viviendas evaluadas no cuenta con planos estructurales ni arquitectónicos, lo que evidencia la escasa importancia otorgada a la planificación técnica, incrementando así su vulnerabilidad sísmica. Estas construcciones son, en su mayoría, autoconstruidas sin supervisión profesional ni cumplimiento de normas técnicas. Por otro lado, el 80% de las viviendas corresponde al tipo unifamiliar, mientras que solo el 20% son multifamiliares, lo cual refleja una preferencia por viviendas individuales, debido a factores como mayor espacio, privacidad y calidad de vida. En cuanto al número de pisos, el 50% de las viviendas tiene dos niveles, el 35% solo uno, y el 15% cuenta con tres pisos, lo que indica que la mayoría de las familias proyecta sus viviendas con dos niveles como límite habitual. Finalmente, se identificaron deficiencias estructurales importantes en algunas edificaciones, como la falta de continuidad en los muros portantes desde la cimentación hasta la cubierta, lo que debilita el comportamiento sísmico general de la estructura.

Ahora se expone los resultados aplicando el método AIS:

Tabla 2: Diagnóstico de la vulnerabilidad – Aspectos geométricos

Componentes	ASPECTOS GEOMÉTRICOS			Resumen	Vulnerabilidad
	Clasificación de viviendas				
	Baja	Media	Alta		
Irregularidad en planta.	11	14	11	Media	Media
Cantidad de muros en dos direcciones.	8	20	8	Media	
Irregularidad en altura.	8	16	12	Media	

Nota: La tabla nos muestra que los aspectos geométricos obtuvieron un grado de vulnerabilidad media.

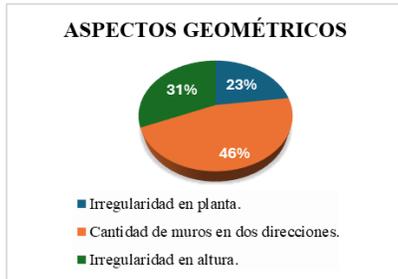


Figura 17: Distribución porcentual de los aspectos geométricos

Se puede observar que 20 viviendas representada por un 46% corresponde a la cantidad de muros en dos direcciones, con un 31% constituido por 16 viviendas, tenemos la irregularidad en altura, que se manifiesta en la mayoría de las viviendas así mismo como la irregularidad en planta con un 23% compuesto por 14 viviendas; obteniendo así una vulnerabilidad media dentro del primer aspecto.

Tabla 3: Diagnóstico de la vulnerabilidad – Aspectos Constructivos

Componentes	ASPECTOS CONSTRUCTIVOS			Resumen	Vulnerabilidad
	Clasificación de viviendas				
	Baja	Media	Alta		
Calidad de las juntas de pega en mortero.	3	30	3	Media	Media
Tipo y disposición de las unidades de mampostería.	4	22	10	Media	
Calidad de los materiales.	5	25	6	Media	

Nota: La tabla nos muestra que los aspectos constructivos obtuvieron un grado de vulnerabilidad media.



Figura 18: Distribución porcentual de los aspectos constructivos

Se puede visualizar que un 39% compuesto por 30 viviendas corresponde a la calidad de pega en mortero seguido

de un 33% conformado por 25 viviendas al tipo y distribución de las unidades de mampostería, así como la calidad de materiales con un 29% constituido por 22 viviendas, esto impacta directamente en la resistencia del concreto y los materiales de baja calidad, obteniendo así una vulnerabilidad media dentro del segundo aspecto.

Tabla 4: Diagnóstico de la vulnerabilidad – Aspectos Estructurales

Componentes	ASPECTOS ESTRUCTURALES			Resumen	Vulnerabilidad
	Clasificación de viviendas				
	Baja	Media	Alta		
Las paredes están confinadas y reforzadas.	3	24	9	Media	Media
Características de las vigas y columnas que confinan.	10	20	6	Media	
Vigas coronas, vigas soleras y de amarre.	6	17	13	Media	
Distribución y caracterización de aberturas.	4	11	21	Alta	
Entrepiso.	2	27	7	Media	
Amarradura de techado.	5	13	18	Alta	

Nota: La tabla nos muestra que los aspectos estructurales obtuvieron un grado de vulnerabilidad media.



Figura 19: Distribución porcentual de los aspectos estructurales

Se puede visualizar que un 23% conformado por 27 viviendas, corresponde a las características de entrepiso siendo el mayor valor que influye en la vulnerabilidad sísmica, también con un 22% integrado por 24 viviendas pertenece a las paredes confinadas y reforzadas y con un 20% constituido por 20 viviendas, corresponde a las características de las vigas y columnas que confinan; estos son los tres primeros valores que afectan la estructura, obteniendo así una vulnerabilidad media. Igualmente en los 3 aspectos siguientes de cimentación, suelo, y entorno presentan una vulnerabilidad media.

Tabla 5: Resumen de los resultados totales aplicando el método AIS

N° de vivienda	UBICACIÓN	METODO AIS		
		Índice de vulnerabilidad	Grado Porcentual de vulnerabilidad	Nivel de Vulnerabilidad

N°1		1.53	51.11%	Media
N°2		1.43	47.78 %	Media
N°3		1.93	64.44%	Media
N°4		2.40	80.00%	Alta
N°5		1.93	64.44%	Media
N°6		2.20	73.33%	Alta
N°7		2.20	73.33%	Alta
N°8		1.83	61.11%	Media
N°9		1.77	58.89%	Media
N°10		2.43	81.11%	Alta
N°11		1.98	66.11%	Media
N°12		1.92	63.89%	Media
N°13		1.95	65.00%	Media
N°14		1.80	60.00%	Media
N°15		1.82	60.56%	Media
N°16		1.92	63.89%	Media
N°17		1.48	49.44%	Media
N°18		1.57	52.22%	Media
N°19	Sector	1.83	61.11%	Media
N°20	El	1.95	65.00%	Media
N°21	Triunfo	2.20	73.33%	Alta
N°22	Cajamarca	1.83	61.11%	Media
N°23		1.77	58.89%	Media
N°24		2.43	81.11%	Alta
N°25		1.98	66.11%	Media
N°26		1.92	63.89%	Media
N°27		1.95	65.00%	Media
N°28		1.80	60.00%	Media
N°29		1.82	60.56%	Media
N°30		1.92	63.89%	Media
N°31		1.48	49.44%	Media
N°32		1.57	52.22%	Media
N°33		1.83	61.11%	Media
N°34		1.95	65.00%	Media
N°35		1.92	63.89%	Media
N°36		1.77	58.89%	Media

Nota: La tabla nos muestra los resultados finales de todas las viviendas analizadas en el sector El Triunfo.



Figura 20: Porcentajes totales de la vulnerabilidad sísmica

En la anterior tabla y figura se muestra un resumen de los resultados aplicando el método AIS para evaluar la vulnerabilidad de las viviendas de albañilería confinada en el sector El Triunfo - Cajamarca. Se presentan tres indicadores clave: el índice de vulnerabilidad, el grado porcentual de vulnerabilidad y el nivel de vulnerabilidad clasificado en media con un porcentaje de 80% conformado por 30 viviendas y alta con un porcentaje de 20% conformado por 6 viviendas.

Evaluación mediante un análisis sísmico

Se elaboró el modelado de tres vivienda las cual una de ellas se presenta como muestra representativa de manera gráfica para poder determinar con mayor precisión la reacción de la estructura ante un sismo. El modelado se realizó utilizando el programa ETABS el cual nos muestra la vivienda en tres dimensiones y también nos permite verificar la densidad de muros la cual debe cumplir con lo señalado en la norma E.070 de albañilería como también verificaremos el máximo desplazamiento relativo de entrepiso el cual se basa según el material predominante en este caso sería de albañilería con un valor de 0.005 según lo establecido por la norma E.030 de diseño sismorresistente.

• Densidad de muros

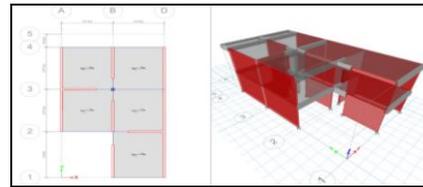


Figura 21: Modelado de vivienda de dos pisos en el programa ETABS

Tabla 6: Muros en el eje X

EJE X	CANTIDAD TOTAL DE MUROS				2
Código	Cantidad	L (m)	t (m)	Lxt(m2)	
1X	1	2.30	0.13	0.30	
2X	1	2.30	0.13	0.31	
				$\sum Lxt =$	0.61

Nota: Cantidad total de muros en el eje x

Se aplicó la ecuación según la norma E.070 de albañilería para el eje x:

$$\frac{\text{Área de corte de los muros reforzados}}{\text{Área de planta típica}} = \frac{\sum Lxt}{Ap} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

$$0.009369 \leq 0.014375$$

No cumple



Tabla 7: Muros en el eje Y

EJE Y	CANTIDAD TOTAL DE MUROS				6
Código	Cantidad	L (m)	t (m)	L x t (m2)	
1Y	2	3.77	0.13	0.98	
2Y	1	3.40	0.13	0.44	
3Y	1	3.40	0.13	0.44	
4Y	1	3.50	0.13	0.46	
5Y	2	3.77	0.13	0.98	
6Y	1	4.10	0.13	0.53	
				$\sum Lxt =$	3.83

Nota: Cantidad total de muros en el eje y

Se aplicó la ecuación según la norma E.070 de albañilería para el eje y

$$\frac{\text{Área de corte de los muros reforzados}}{\text{Área de planta típica}} = \frac{\sum Lxt}{Ap} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

$$0.058768 \geq 0.014375$$

Si cumple



- **Desplazamientos relativos de entrepiso**

Tabla 8: Parámetros sísmicos de la vivienda

PARÁMETROS SÍSMICOS				
Datos	Factores	Datos	Dir X-X	Dir Y-Y
Z	0.35	R	3	3
U	1.00	Ia	0.90	0.90
S	1.15	Ip	0.85	0.85
TP	0.60	R	2.295	2.295
TL	2.00	g	9.81 m/s ²	

Nota: Datos obtenidos según los parámetros asignados

Cálculo de la distorsión máxima en el eje X

Tabla 9: Datos de análisis sísmico en el eje X

ANÁLISIS SÍSMICO EN LA DIRECCIÓN X		
Niveles	Desplazamiento	Deriva
PISO 1	0.0082 m	0.021 m
PISO 2	0.0016 m	0.004 m

Nota: La tabla muestra los datos extraídos del programa ETABS.

Tabla 10: Límites máximos en el eje x

VERIFICACIÓN DE LÍMITES MÁXIMOS PARA LA DISTORSIÓN DE ENTREPISO				
Niveles	Deriva en X		Norma E.030	
PISO 1	0.0075 m	>	0.005	No cumple
PISO 2	0.0007 m	<	0.005	Si cumple

Nota: La tabla muestra los desplazamientos máximos en el eje x.

Cálculo de la distorsión máxima en el eje Y

Tabla 11: Datos de análisis sísmico en el eje Y

ANÁLISIS SÍSMICO EN LA DIRECCIÓN Y		
Niveles	Desplazamiento	Deriva
PISO 1	0.01350 m	0.03443 m
PISO 2	0.00025 m	0.00063 m

Nota: La tabla muestra los datos extraídos del programa ETABS.

Tabla 12: Límites máximos en el eje y

VERIFICACIÓN DE LÍMITES MÁXIMOS PARA LA DISTORSIÓN DE ENTREPISO				
Niveles	Deriva en Y		Norma E.030	
PISO 1	0.012295 m	>	0.005	No cumple
PISO 2	0.000113 m	<	0.005	Si cumple

Nota: La tabla muestra los desplazamientos máximos en el eje y.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se ha realizado diversos estudios y observaciones en campo de las viviendas de albañilería confinada en el sector El Triunfo, Cajamarca, resultando que 30 viviendas con un porcentaje del 80% presentan un nivel de vulnerabilidad media y 6 viviendas con un porcentaje del 20% presentan un nivel de vulnerabilidad alta. En términos generales, la mayoría de las viviendas presentan un nivel de vulnerabilidad "media", con valores de grado porcentual de vulnerabilidad que oscilan entre el 47,78% y el 66,11%, sin embargo, algunas viviendas destacan por tener un nivel de vulnerabilidad "alta", como las viviendas N°4, N°6, N°7 y N°10, con valores que superan el 73%. La vivienda con el mayor índice de vulnerabilidad es la N°10 y N°24, con un índice de vulnerabilidad de 2.43 y con un grado

porcentual de vulnerabilidad de 81.11%, lo que indica un riesgo significativo respecto a la probabilidad de colapso ante un evento sísmico.

El análisis de densidad de muros que se calculó muestra que en el eje X no se cumple con el requisito mínimo establecido por la norma E.070, ya que el valor obtenido (0.009369) es menor que el valor requerido (0.014375), esto indica que la cantidad y distribución de muros en este eje no proporciona suficiente resistencia al corte, lo que podría comprometer la estabilidad estructural en esta dirección. Para mejorar el desempeño en el eje X, sería adecuado aumentar la cantidad o el espesor de los muros en este eje, asegurando así el cumplimiento normativo y una mejor distribución de la resistencia en ambas direcciones. Por otro lado, en el eje Y, la densidad de muros sí cumple con la norma, ya que el valor obtenido (0.058768) es superior al mínimo requerido (0.014375). Esto significa que en esta dirección la estructura cuenta con una cantidad adecuada de muros para resistir las cargas laterales, brindando mayor estabilidad.

El análisis de la distorsión de entrepiso en la dirección X muestra que el primer piso no cumple con el límite máximo permitido según la norma E.030, ya que su deriva en X es de 0.0075 m, un valor superior al límite de 0.005; ocurre lo mismo con la distorsión de entrepiso en la dirección Y debido a que en el primer piso no cumple con el límite máximo permitido, ya que su deriva en Y es de 0.0123 m, un valor superior al límite de 0.005, el cual nos indica que la estructura experimenta una deformación en este nivel, lo que podría comprometer su estabilidad y seguridad ante cargas sísmicas. Por otro lado, el segundo piso sí cumple con la normativa, ya que su deriva en X es de 0.0007 m, y su deriva en Y es de 0.0001, valores que están dentro del rango permitido. Sin embargo, dado que el primer piso no cumple, es necesario implementar medidas correctivas, como aumentar la rigidez de los muros o reforzar la estructura, para reducir la distorsión y garantizar un mejor comportamiento sísmico. Por lo tanto, la implicancia de este estudio es de primer alcance debido a que indica el estado de una vivienda sin tener un daño estructural o sin realizar ensayos destructivos.

Por ello, se toma en cuenta técnicas de reforzamiento, como las **mallas electrosoldadas** es un método utilizado para mejorar la capacidad estructural de muros, especialmente en los que requieren mayor resistencia a cargas o han sufrido daños como fisuras o grietas, es un material formado por una serie de varillas de acero que se unen mediante soldaduras eléctricas, que puede ser utilizada para reforzar diversos tipos de estructuras, incluidos muros de concreto, mampostería, tiene una alta resistencia a la tracción y se utiliza constantemente para proporcionar refuerzo adicional [18], otra técnica son **fibras de carbono**, es una de las soluciones más avanzadas y efectivas para el refuerzo de muros, particularmente en edificaciones que requieren una mejora en su resistencia estructural sin realizar modificaciones invasivas o cambiar el aspecto original de la estructura, este material tiene una resistencia a la tracción extremadamente alta y es muy ligero, por eso lo convierte en una excelente opción para

reforzar estructuras sin agregar peso adicional, también mejora la capacidad de carga, la resistencia a la flexión, y la durabilidad de la estructura, especialmente frente a esfuerzos sísmicos, cargas laterales y flexión [18]. Otra alternativa de reforzamiento es el **eencamisado de concreto** que consiste en agregar una capa adicional de concreto armado alrededor de un elemento estructural existente, como columnas, vigas o muros, con el objetivo de incrementar su capacidad de carga, este método se aplica cuando una estructura necesita mayor resistencia debido a cambios en su uso o deterioro este procedimiento es frecuente en rehabilitaciones de edificios antiguos o estructuras afectadas por terremotos [18].

En el estudio titulado “Grado De Vulnerabilidad Sísmica Según Características Constructivas De Viviendas De Albañilería Confinada, Bajo Enfoque De La Metodología AIS, AA. HH El Progreso - Carabayllo, Lima 2019”. Se analizó 21 viviendas de albañilería confinada. Se llegó a la conclusión, que existe un grado de vulnerabilidad baja de 0%, media de 28.57% y alta de 71.43%, en las viviendas de albañilería confinada analizadas, bajo el enfoque de la metodología AIS. En la presente investigación se empleó el mismo método (AIS) analizando 36 viviendas de albañilería confinada en el sector El triunfo, Cajamarca, en donde obtuvimos que la cantidad de muros en dos direcciones, la calidad de juntas de pega en mortero, las paredes confinadas y reforzadas y el entrepiso son los aspectos más críticos. En síntesis, se alcanzó un grado vulnerabilidad baja de 0%, media de 80% y alta de 20%. Por lo tanto se coincide con la investigación mencionada, debido a que ambas reflejan que la mayoría de las viviendas analizadas presentan problemas estructurales significativos, lo que las hace susceptibles a daños severos ante eventos sísmicos.

En el estudio realizado de “Análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas con el método AIS en el Jirón Progreso, Coishco, Santa, Ancash, 2021”. Se seleccionó una muestra de 10 viviendas. Entre los resultados, se encontró que un 50% de las viviendas presentaron vulnerabilidad sísmica moderada, el 30% baja y el 20% alta. En el análisis espectral con software ETABS 2016, se identificaron puntos críticos en el eje X con un valor de 0.394 en los tiempos de 0.35 y 0.40 segundos. Finalmente, se llegó a la conclusión que los principales factores de vulnerabilidad son la baja calidad de los materiales y la falta de reforzamiento estructural. En la presente indagación se empleó el mismo método (AIS) analizando 36 viviendas de albañilería confinada en el sector El triunfo, Cajamarca, en donde obtuvimos un grado vulnerabilidad baja de 0%, media de 80% y alta de 20%. Respecto al análisis espectral con el software ETABS también se identificaron puntos críticos en eje X en el primer piso con un valor de 0.0075 y en el eje Y del primer piso con un valor de 0.0123, los cuales superan el límite de distorsión máxima de 0.005 para albañilería confinada, esto confirma que estas edificaciones tienen una respuesta sísmica deficiente. Por efecto se evidencia una alta proporción de edificaciones con vulnerabilidad media y alta en ambas investigaciones, lo que

indica deficiencias estructurales, como la baja calidad de los materiales, entre otros.

En la investigación de “Evaluación de la vulnerabilidad estructural de viviendas informales: caso de estudio barrio Mirador de Corinto Soacha”, su metodología combinó los métodos AIS y IVEM, 30 fueron evaluadas. Los resultados destacaron que un 69% de las edificaciones exponen una vulnerabilidad moderada, mientras que un 30% eran muy vulnerables y el 2% poco vulnerables. El índice de vulnerabilidad osciló entre 5.64 y 5.98 para las viviendas, alcanzando un máximo de 6.57 en los casos más críticos. En la presente investigación se realizó el estudio en el sector El Triunfo tomando como muestra 36 viviendas aplicando en el método AIS considerando sus seis aspectos, llegando al punto crítico de 2.43, lo que afectaría significativamente a las viviendas ante eventos sísmicos.

En el estudio de “Análisis de vulnerabilidad sísmica aplicando el Método de Índice de Vulnerabilidad FEMA P-154 y Método AIS en viviendas del sector 5 del AA. HH Defensores de la Patria, Ventanilla, Callao, 2023” con una muestra probabilística de 137 viviendas. Entre los resultados, el método FEMA P-154 reveló que el 48.2% de las viviendas presentan un nivel de vulnerabilidad sísmica medio, mientras que el método AIS identificó que un 37.7% de las edificaciones comparten esta misma categoría. En la presente investigación se analizó 36 viviendas en el sector El Triunfo evaluando características constructivas y basándonos en el método AIS, teniendo un resultado de 80% de vulnerabilidad sísmica media y un 20% de nivel alto, se concluye que se debe reforzar las estructuras para no sufrir daños ante eventos sísmico ya que presenta un alto índice de vulnerabilidad sísmica.

La investigación de “Análisis de vulnerabilidad sísmica de edificaciones unifamiliares de la urbanización Monserrate-Trujillo mediante el método AIS”, se determinó que tres viviendas presentaban derivas de entrepiso dentro de los parámetros normativos, mientras que las otras dos mostraron fallas debido a modificaciones estructurales. Finalmente, se concluyó que el nivel de vulnerabilidad sísmica predominante en la urbanización fue medio, debido a deficiencias en el diseño y construcción informal de las edificaciones. En este trabajo se determinó que las viviendas evaluadas no cumplen con la norma E.030 de diseño sismorresistente, debido a que presentan fallas, en donde dos derivas están dentro de lo establecido y las otras dos no cumplen.

En conclusión, se logró, determinar el nivel y grado de vulnerabilidad sísmica de las 36 viviendas analizadas del sector El Triunfo, Cajamarca, en donde según los resultados obtenidos, el 80% de las viviendas muestran un nivel de vulnerabilidad media, un 0% baja y el 20% revelan un nivel de vulnerabilidad alta, indicando que la gran mayoría de viviendas son muy vulnerables ante cualquier evento sísmico, alcanzando así el objetivo planteado y reafirmando la hipótesis formulada. También se verificó que la gran parte de las viviendas evaluadas no cumplen con los estándares de deriva de entrepiso de acuerdo con la normativa E.030 de Diseño

sismorresistente (superan el límite de 0.005), del mismo modo ocurre en la densidad de muros donde el eje x no cumple con lo establecido en la norma E.070 de albañilería. Teniendo en cuenta ello, se llega a la conclusión que las viviendas necesitan ser reforzadas, por ende, se recomienda 3 principales técnicas de reforzamiento, que son las mallas electrosoldadas, las fibras de carbono y el encamisado de concreto.

Si bien el método AIS es una herramienta accesible y ágil para evaluar la vulnerabilidad sísmica en viviendas, presenta limitaciones importantes, como su carácter cualitativo, la subjetividad del evaluador y la ausencia de análisis estructural y geotécnico detallado. Además, su enfoque está orientado a edificaciones de baja complejidad, lo que restringe su aplicación en estructuras con diseños más sofisticados.

El método AIS constituye una herramienta útil para la evaluación preliminar de la vulnerabilidad sísmica, especialmente en viviendas de contextos informales o autoconstruidos, no obstante, para obtener un diagnóstico más preciso y confiable, es recomendable complementar este método con otros enfoques estructurales más robustos, que permitan una validación más rigurosa de las condiciones reales de las edificaciones. Entre estos, destaca el método FEMA (Federal Emergency Management Agency), el cual ofrece distintas herramientas según el nivel de profundidad requerido: el FEMA 154, para evaluaciones rápidas a gran escala, y los métodos FEMA 310 y 356, que permiten un análisis detallado de la capacidad sísmica y proponen estrategias de rehabilitación estructural, siendo especialmente útiles en edificaciones críticas. Asimismo, el método Benedetti–Petrini permite calcular un índice de vulnerabilidad sísmica considerando parámetros estructurales, constructivos y geométricos, ofreciendo una evaluación cuantitativa integral. Otros enfoques relevantes incluyen las metodologías propuestas por INDECI, el IRSIS (Índice de Riesgo Sísmico Simplificado), y las herramientas desarrolladas por el CISMID (Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres), todos ellos ampliamente aplicados en el contexto peruano, cabe señalar que cualquiera de estos métodos se potencia significativamente cuando se integran con estudios geotécnicos, modelados estructurales numérico (como el análisis de elementos finitos), y evaluaciones no lineales, como el análisis Pushover, que permite determinar la capacidad última de carga, el factor de seguridad y la ductilidad de la estructura. En conjunto, esta integración metodológica permite establecer estrategias de intervención más efectivas y adaptadas al contexto local, fortaleciendo así la gestión del riesgo sísmico en zonas vulnerables.

REFERENCIAS

- [1] Delgado, J, Perez, R, & Torres, M (2021). Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica en Construcciones Informales. *Revista de Ingeniería Civil*, 27(3), 45-62
- [2] Martínez, L., Gómez, P., & Sánchez, F. (2020). Análisis estructural de edificaciones de albañilería confinada. *Journal of Structural Engineering*, 46(2), 123-135. ONU. (2021). Estado de la preparación ante desastres sísmicos. Naciones Unidas.
- [3] Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo resistente de viviendas de mampostería. (AIS) (2001). https://www.pseau.org/outils/ouvrages/ais_mamposteria_fraccionado_es.pdf
- [4] Paz, A. J. (2020). Grado de vulnerabilidad sísmica según características constructivas de viviendas de albañilería confinada, bajo enfoque de la metodología AIS, AA.HH El Progreso - Carabayllo, Lima 2019 [Tesis de licenciatura]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/24357>
- [5] Torres Valdez, R. A. (2021). Análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas con el método AIS en el Jirón Progreso, Coishco, Santa, Ancash, 2021 [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Civil]. Universidad Nacional del SANTA. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/97124>
- [6] Vásquez Serrato, V., & Anturi Almaro, C. A. (2024). Evaluación de la vulnerabilidad estructural de viviendas informales: caso de estudio barrio Mirador de Corinto Soacha. Bogotá, D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/3087>
- [7] Chávez, K. E., y Huancapaza, J. E. (2024). Análisis de vulnerabilidad sísmica aplicando el Método de Índice de Vulnerabilidad FEMA P-154 y Método AIS en viviendas del sector 5 del AA. HH Defensores de la Patria, Ventanilla, Callao, 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio UTP. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/9031>
- [8] Briceño Ruiz, L. A., & Vásquez Hurtado, E. (2022). Análisis de vulnerabilidad sísmica de edificaciones unifamiliares de la Urbanización Monserrate-Trujillo mediante el método AIS [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio INSTITUCIONAL. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/9686>
- [9] Torres Valdez, R. A. (2021). Análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas con el método AIS en el Jirón Progreso, Coishco, Santa, Ancash, 2021 [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Civil]. Universidad Nacional del Santa. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/97124>
- [10] *Capítulo 2 Vulnerabilidad y daño sísmicos*. (2001). Repositorio Institucional. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6230/03CAPITULO2.pdf>
- [11] Reglamento Nacional de Edificaciones, S (2019). NORMA E.070 ALBAÑILERÍA <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.070-albañileria-sencico.pdf>
- [12] Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento (2016). Modifican la norma técnica e.030 diseño sismorresistente del reglamento nacional de edificaciones Resolución ministerial n°355-2018-vivienda https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E_030_RM-355-2018-VIVIENDA_Peruano.pdf
- [13] Ramírez, A., Mendoza, C., & López, S. (2022). Normas sismorresistentes en Latinoamérica. *Revista Latinoamericana de Ingeniería*, 30(1), 14-29.
- [14] Barbat, A. H., Pujades, L. G., & Lantana, N. (2021). Seismic vulnerability assessment of buildings and risk evaluation. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 50(4), 823-839.
- [15] Carlos V, Escudero S. & Liliana A, Cortez S. (2018). Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica. Editorial UTMACH <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12501/1/Tecnicas-y-MetodosCualitativosParaInvestigacionCientifica.pdf>
- [16] Graciela, Tiburcio P. y otros (2020) Manual para la elaboración y presentación de Anteproyectos, Proyectos de Investigación y Tesis Edition: 1 https://www.researchgate.net/publication/349105956_Manual_para_la_elaboracion_y_presentacion_de_Anteproyectos_Proyectos_de_Investigacion_y_Tesis
- [17] Sousa, L., Castro, J. M., & Costa, A. (2023). Seismic vulnerability and resilience of confined masonry buildings. *Engineering Structures*, 252, 114672. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/272>
- [18] Jhonatan, S. o. E. (2024). Análisis comparativo entre encamisado y uso de fibras de carbono CFRP en columnas de concreto armado para reforzamiento estructural de viviendas en zonas de alta sismicidad en Lima. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio UTP. <http://hdl.handle.net/10757/674752>