

Análisis sísmico dinámico, modal, espectral y temporal: Un estudio de caso para la Institución Educativa N° 10386 Cuyumalca, Chota, Cajamarca

Dynamic, modal, spectral, and temporal seismic analysis: A case study for the Educational Institution No. 10386 Cuyumalca, Chota, Cajamarca

Luis Alex Cabrera Delgado^{1*}  Elmer Natividad Chávez Vásquez¹ 

¹ Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria Colpamatara, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

*Autor de correspondencia: [email: cd.axel_10@hotmail.com]

RESUMEN

El objetivo fue comparar el análisis sísmico dinámico modal espectral y temporal – en la Institución educativa (I.E) N° 10386 Cuyumalca de Chota en Cajamarca. Para ello se empleó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y nivel explicativo, con diseño cuasi experimental. Se analizaron dos módulos del pabellón N° 2 de la Institución Educativa I.E. N° 10386 Cuyumalca en Chota. Para el análisis modal espectral, se utilizó el espectro de diseño basado en la norma E.030, y para el análisis tiempo-historia se procesaron registros de sismos ocurridos en Loreto, Amazonas y Cajamarca. Los resultados indican que, el Módulo N° 1 no cumple con los criterios de cortante dinámico, alcanzando el 51.50% y 70.70% de la cortante estática en X e Y, respectivamente. así mismo, no cumple con las derivas normadas, especialmente en la dirección Y (0.99%); no obstante, el Módulo N° 2, cumple con la cortante dinámica (90.40% y 84.00%), pero, excede las derivas permitidas en ambas direcciones. Por otro lado, el análisis tiempo-historia reveló deformaciones más significativas, con derivas superiores al 0.7% para ambos módulos, alcanzando hasta 4.30% en el Módulo N° 2 durante el sismo de Loreto. Este método también mostró mayores valores de momentos volcantes y desplazamientos, lo que sugiere que captura de manera más precisa los efectos no lineales y acumulación de daños. Por tanto, se concluye que el análisis tiempo-historia es más conservador y proporciona una evaluación más detallada de la demanda sísmica.

Palabras clave: espectro sísmico, derivas máximas, desplazamientos inelásticos, cortante basal.

ABSTRACT

The objective was to compare spectral and temporal dynamic seismic analysis at Educational Institution (I.E.) No. 10386 Cuyumalca de Chota in Cajamarca. To this end, a

quantitative, applied, and explanatory approach was used, with a quasi-experimental design. Two modules of Pavilion No. 2 of Educational Institution I.E. No. 10386 Cuyumalca in Chota were analyzed. For the spectral modal analysis, the design spectrum based on standard E.030 was used, and for the time-history analysis, records of earthquakes that occurred in Loreto, Amazonas, and Cajamarca were processed. The results indicate that Module No. 1 does not meet the dynamic shear criteria, reaching 51.50% and 70.70% of the static shear in X and Y, respectively. Likewise, it does not comply with the standardized drifts, especially in the Y direction (0.99%); however, Module No. 2 complies with the dynamic shear (90.40% and 84.00%) but exceeds the permitted drifts in both directions. On the other hand, the time-history analysis revealed more significant deformations, with drifts greater than 0.7% for both modules, reaching up to 4.30% in Module No. 2 during the Loreto earthquake. This method also showed higher values of overturning moments and displacements, suggesting that it more accurately captures nonlinear effects and damage accumulation. Therefore, it is concluded that time-history analysis is more conservative and provides a more detailed assessment of seismic demand

Keywords: seismic spectrum, maximum drifts, inelastic displacements, basal shear.

INTRODUCCIÓN

Los movimientos sísmicos representan un grave desafío para las estructuras, la sociedad y la economía de las poblaciones (AbdelMalek et al., 2022). Siendo, los niños y adolescentes los más vulnerables, en los centros educativos (Hassan et al., 2020), porque los edificios escolares, además de ser espacios educativos, también juegan un papel vital en actividades sociales y en la recuperación post-desastres, es por ello deben garantizar la seguridad de estudiantes y del público en general (Brunelli et al., 2021). Sin embargo, sismos recientes han demostrado que muchos edificios escolares sufren daños graves, y en varios países aún faltan escuelas resistentes a terremotos (Di Ludovico et al., 2023).

Según, Pal et al. (2023) el Perú se encuentra en una zona de alta actividad sísmica. Cardenas et al. (2020) indican

que más de 500 eventos sísmicos con magnitudes superiores a 3.0 en la escala de Richter ocurrieron en 2019, y más de 3,694 aulas sufrieron daños estructurales en el año 2019. Por tanto, estas edificaciones, destinadas a la enseñanza educativa y al resguardo de los ciudadanos tras un sismo, requieren análisis sísmicos adaptados a los eventos sísmicos reales (Ruhl et al., 2019).

Los análisis sísmicos se clasifican en lineales y no lineales (Magisano et al., 2023). El análisis del espectro de respuesta modal y método lineal evalúan la respuesta máxima de la estructura, combinando las respuestas de los modos más relevantes según el porcentaje de masa total involucrada (Spinelli et al., 2023). Sin embargo, el análisis de historia del tiempo (tiempo-historia) se considera más completo (Magisano et al., 2022). En ese sentido, Souroushian & Wriggers

(2023) este análisis utiliza un movimiento del suelo de referencia, escalado a la intensidad del lugar.

Sin embargo, Gálvez & Ortiz (2022) manifestaron que los resultados del análisis tiempo-historia pueden ser sobredimensionados, entre tanto, Quispe (2021) señala que las edificaciones pueden resistir el espectro de diseño, pero no el formado con los sismos frecuentes y máximos del país, esto genera la necesidad de comparar ambos métodos.

Cajamarca se clasifica dentro de la zona sísmica tipo 2, lo que implica riesgo sísmico moderado (MVCS, 2018). A pesar de ello, su proximidad a regiones como Amazonas, donde se han registrado sismos devastadores en los últimos años (El Comercio, 05/12/2021), pone de manifiesto la necesidad de realizar estudios más detallados que tomen en cuenta tantos sismos frecuentes y máximos que podrían afectar la región de Cajamarca.

Hasta el momento, en Cajamarca los estudios estructurales se han basado principalmente en el método modal espectral, sin una evaluación profunda del método tiempo-historia, lo que limita la comprensión del verdadero riesgo sísmico al que están expuestas las edificaciones de la región (Llamo, 2024). La I.E. N° 10386 del centro poblado Cuyumalca – Chota, en el año 2023 albergó a 128 alumnos de primaria en sus nueve secciones (Escale, 20224), su infraestructura se conforma por dos

pabellones. El pabellón N° 2 evidencia grietas, fisuras y deterioro en sus elementos estructurales, por lo que, es pertinente realizar su análisis sísmico, pero, además, considerando que, la estructura fue diseñada en el año 2000, es necesario verificar su cumplimiento con la norma E.030 (MVCS, 2018). La I. E. posee 23 años por tanto se debe realizar el análisis espectral modal que, de acuerdo con las normas y también se debe realizar el análisis tiempo – historia para verificar su pertinencia ante sismos máximos suscitados en el país, y sismos frecuentes ocurridos en Cajamarca. En ese contexto, , el objetivo en este estudio fue comparar el análisis sísmico dinámico modal espectral y temporal, así como el de historia para los sismos máximos y frecuentes del país con énfasis en la I.E. N° 10386 Cuyumalca de Chota, Cajamarca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

La I.E. N° 10386 se ubica en el centro poblado Cuyumalca, del distrito de Chota y está localizada en las coordenadas UTM WGS84 17S 763869.00 m E, 9271408.00 m S. Su infraestructura educativa está conformada por dos pabellones de dos módulos cada uno. El clima es semifrío lluvioso, con temperaturas desde 10 °C a 25 °C, con 80.5% de humedad relativa, y precipitaciones pluviales de 115 mm/hr, con mayor frecuencia de noviembre a abril (Senamhi, 2023) (Figura 1)

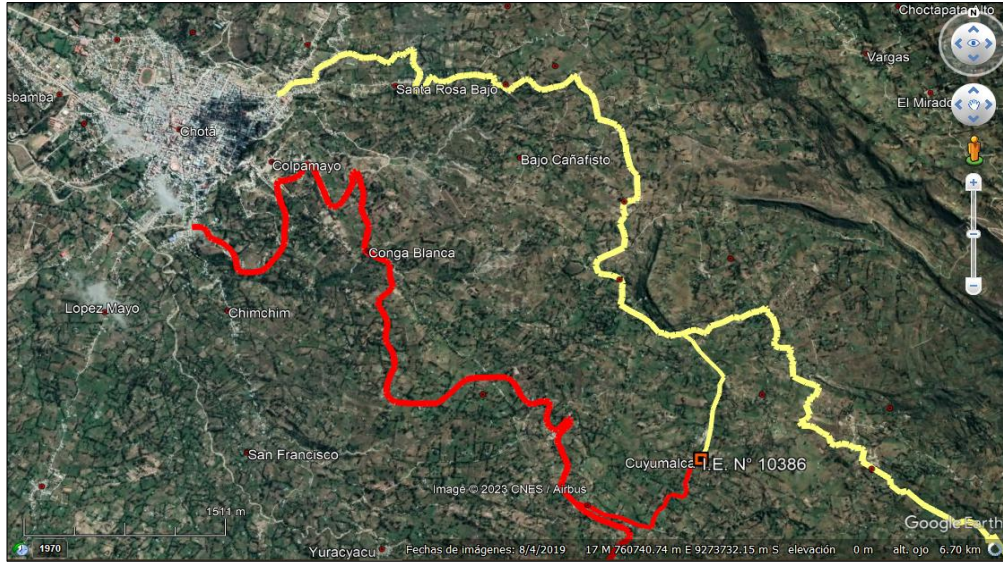


Figura 1. Ubicación y accesos a la institución educativa N° 10386 Cuyumalca en Chota, Cajamarca.

Diseño de investigación

La investigación es cuasiexperimental, dado que la muestra se definió previamente por conveniencia y la "Variable independiente" afecta a la "Variable dependiente" (Ramos-Galarza, 2021). Se utilizaron dos tipos de espectros sísmicos: el espectro de diseño de la norma E.030 y los espectros formados por eventos sísmicos máximos y frecuentes en el país, lo que influyó en el comportamiento sísmico de la estructura (Variable dependiente) evaluado mediante análisis modal espectral y tiempo-historia.

El muestreo fue no probabilístico intencional por conveniencia. "Se usa cuando el mismo investigador elige a los

elementos apropiados para el estudio" (Lopez, 2004). En este caso, fue definido al pabellón 2 como muestra de estudio, debido a que, presentó fisuras y agrietamiento en toda su estructura

Colecta de datos

Revisión de planos

Se recopiló información a través de los planos del Pabellón N° 2 de la IE N° 10386 Cuyumalca, tanto en formato digital como físico. Los planos contienen detalles de la distribución de espacios, elementos estructurales y dimensiones generales. A continuación, se verificaron las dimensiones para garantizar su fidelidad con la estructura real (Figura 2 y Figura 3).

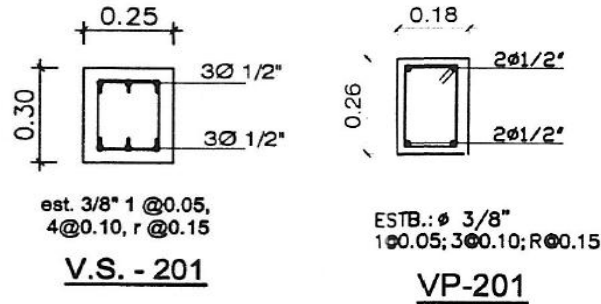


Figura 2. Revisión de detalles de las vigas de los planos de la estructura de la institución educativa N° 10386.

Nota: Expediente técnico (MPCH, 2000).

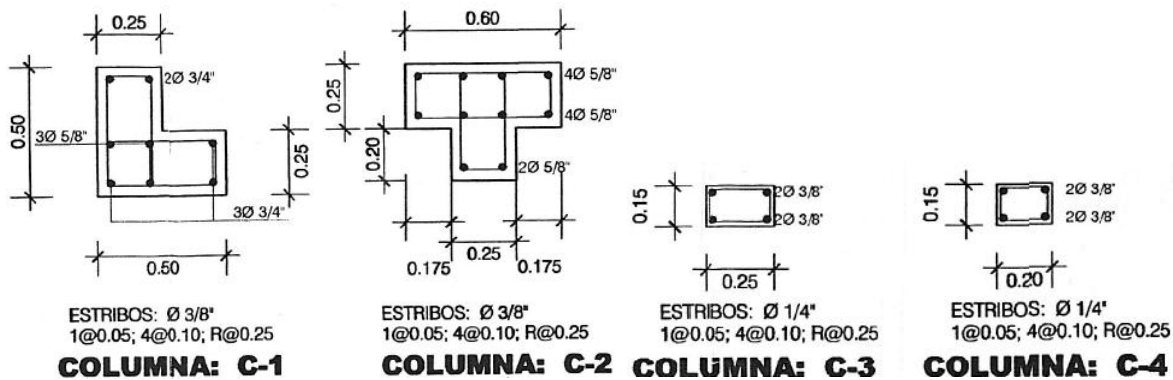


Figura 3. Revisión de detalles de las columnas en los planos de la estructura de la institución educativa N° 10386

Nota: Expediente técnico (MPCH, 2000).

Visita de campo a la institución educativa

Se visitó la edificación y se realizaron mediciones de largo, ancho y peralte en las vigas, columnas y losas para verificar

que, cumpla con las dimensiones, geometría y demás datos especificados en los planos (Figura 4).



Figura 4. Vista de la Institución Educativa N° 10386 Cuyumalca, Chota para las mediciones estructurales.

Ensayo de esclerometría (NTP 339.181)

Se realizó el ensayo de esclerometría de acuerdo con la NTP 339.181 (INACAL,

2020) en tres puntos por cada tipo de elemento estructural (columnas, vigas y losa) de los módulos del pabellón N° 2 de la I.E. N° 10386 Cuyumalca, utilizando

el esclerómetro marca Forney®, Modelo LA-0352, serie 124, facilitado por el laboratorio CIEXLIAN S.R.L. (Figura 5)



Figura 5. Realización del ensayo de esclerometría en los módulos de la institución educativa N° 10386

Excavación de calicata para extracción de muestras de suelo

Cerca del área de cimentación del pabellón 2 de la institución educativa en estudio, se excavó con herramientas manuales (palana, pico) una calicata de 1.50 m x 1.50 m x 1.50 m, conformada por dos estratos, el estrato superior de 0.40 m correspondiente a material orgánico

y el segundo estrato del cual se extrajo la muestra de suelo inalterado para la prueba corte directo por medio de un muestreador rectangular de 10 cm de lado y 4 cm de altura, y para los ensayos de clasificación se colectó muestras alteradas en bolsas impermeables (Figura 6).



Figura 6. Excavación de calicatas para la toma de muestras de suelo en la Institución Educativa N° 10386, Chota, Cajamarca

Ensayos de mecánica de suelos

Las muestras de suelo se sometieron a las normas NTP 339.127 de humedad (INACAL, 2019), NTP 339.128 de gradación (INACAL, 2019), NTP 339.128 de plasticidad (INACAL, 2019) y NTP 339.171 de corte directo (INACAL, 2017) en el laboratorio CIEXLIAN S.R.L.

Modelamiento y análisis sísmico de la edificación

Para el modelamiento y análisis sísmico del edificio se procesó la información estructural, de columnas, vigas y materiales utilizados en el software ETABS versión 20.1.0. En seguida, se

asignaron las cargas correspondientes, incluyendo el peso propio de la estructura y las fuerzas sísmicas según las normativas locales.

Se emplearon dos métodos de análisis: el modal espectral y el tiempo-historia, los cuales permitieron simular la respuesta del edificio ante sismos máximos y frecuentes. Tras realizar las simulaciones, se analizaron los desplazamientos, derivas y cortante basal, comparando los resultados entre ambos métodos para evaluar el comportamiento estructural (Figura 7 y Figura 8)

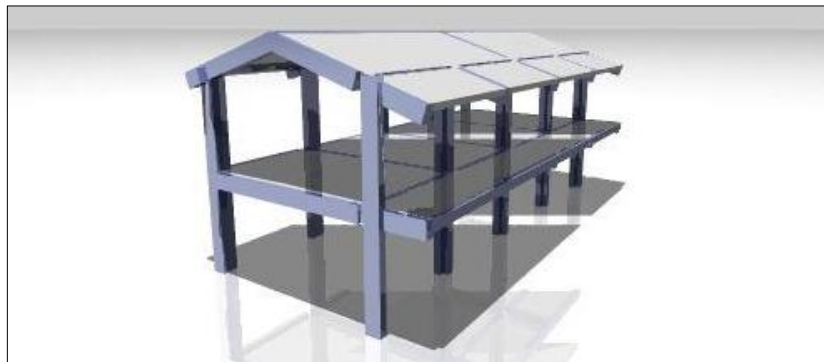


Figura 7. Modelo N° 1 del Pabellón 2 de la institución educativa N° 10386 desarrollado en el programa ETABS



Figura 8. Modelo N° 2 del Pabellón 2 de la institución educativa N° 10386 desarrollado en el programa ETABS

Para el análisis tiempo – historia se obtuvieron los registros sísmicos de los movimientos telúricos más recurrentes y de los eventos telúricos máximos suscitados en el país y en Cajamarca, luego fueron procesados en el programa

ViewWave versión 2.2.6. Se han analizado los sismos de Loreto (26 de junio de 2019), Amazonas (28 de noviembre, 2021) y Cajamarca (03 de agosto de 2020) tal como, se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los eventos sísmicos máximos y frecuentes de la institución educativa N° 10386

Sismo	Loreto	Cajamarca	Amazonas
Fecha	26 de junio de 2019	03 de agosto de 2020	28 de noviembre, 2021
Provincia	Loreto	San Marcos	Marañón (Loreto)
Magnitud	8.0	4.5	7.5
Epicentro	75 km sureste de Loreto	21 km de San Marcos	98 km de Santa Maria de Nieva

Análisis de datos

La investigación se realizó en varias etapas utilizando programas computacionales. Primero, se utilizó el software ViewWave versión 2.2.6 para procesar los espectros libres, lo que permitió generar los espectros a partir de los acelerogramas para el análisis tiempo-historia.

Luego, los espectros fueron ingresados en el software ETABS versión 20.1.0, donde se modeló la estructura y se realizaron los análisis sísmicos con los métodos "modal espectral" y "tiempo-historia", obteniendo resultados como derivas y desplazamientos. Finalmente, los datos fueron procesados y organizados en Microsoft Excel 2022

para comparar los resultados de ambos métodos de análisis sísmico

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resistencia a compresión de los elementos estructurales mediante el ensayo de esclerometría

En el pabellón N° 2, se evaluó la resistencia a compresión en columnas (C), vigas (V), losa y escalera, determinando que, tanto para el módulo N° 1 y módulo N° 2 los valores obtenidos del ensayo de esclerometría son superiores al f'_c de diseño 210 kg/cm², por tanto, mantiene su capacidad mecánica. Siendo así, para el modelamiento de la edificación se ha tomado en cuenta la resistencia de diseño 210 kg/cm² (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de resistencia a compresión en los puntos de muestreo para esclerometría de la institución educativa N° 10386.

Código	Módulo	Elemento	Número de rebotes promedio	Resistencia a compresión (kg/cm ²)
E-1	1	C-1	34.10	268
E-2	1	V-1	34.80	278
E-3	1	C-2	34.90	278
E-4	1	V-3	34.70	274
E-5	1	V-2	34.50	240
E-6	1	V-4	35.00	280
E-7	1	Losa-01	34.90	278
E-8	1	Losa-02	34.60	272
E-9	1	Losa-03	34.90	278
E-1	2	C-5	34.50	270
E-2	2	V-3	34.40	268
E-3	2	C-6	34.00	260
E-4	2	C-7	34.20	264
E-5	2	V-4	34.50	270
E-6	2	C-8	34.50	270
E-7	2	Losa-04	34.00	260
E-8	2	Losa-05	34.30	266
E-9	2	Losa-06	34.10	262
E-1		Escalera	34.10	262
E-2		Escalera	34.20	264
E-3		Escalera	33.10	262

Los resultados de esclerometría evidenciaron que la resistencia a compresión in situ de columnas, vigas, losas y escaleras del pabellón evaluado supera el f'_c de diseño de 210 kg/cm², lo que confirma la adecuada capacidad mecánica del sistema estructural y respalda la adopción de parámetros de diseño en el modelamiento sísmico. Este comportamiento es coherente con Shi et al. (2024) y Cevallos (2022) quienes destacan que las resistencias condicionan directamente la estimación de desplazamientos y derivas, mientras que Altiok et al. (2024) y Tabernero et al.

(2024) evidencian que edificaciones con adecuada capacidad resistente presentan menores demandas sísmicas y mejor desempeño global.

Estudio de mecánica de suelos

El suelo de cimentación del pabellón 2 de la I.E. N° 10386 Cuyumalca se clasifica como arcilla de baja plasticidad, con límite líquido de 38.57% e índice de plasticidad de 17.57%, por lo que es un suelo con baja a mediana plasticidad, que de acuerdo a sus propiedades mecánicas presenta cohesión de 0.34 kg/cm² y ángulo de fricción de 18.73°, alcanzando capacidad portante de 0.97

kg/cm², lo que ha determinado que, de acuerdo a la norma E.030 se califique como un tipo de suelo S2 (suelo

intermedio), considerando este como parte de los parámetros de la edificación por el método modal espectral (Tabla 3).

Tabla 3. Estudio de suelos de la institución educativa N° 10386.

Calicata	Propiedades del suelo
Humedad (%)	17.57
LL (%), LP (%), IP (%)	38.57, 21.00, 17.57
Clasificación SUCS	CL
Cohesión (kg/cm ²)	0.34
Ángulo de fricción interna (°)	18.73
Densidad natural (g/cm ³)	2.011
Capacidad de carga admisible (kg/cm ²)	0.97

Nota: EMS.

Los resultados del estudio de mecánica de suelos indicaron que el suelo de cimentación corresponde a una arcilla de baja plasticidad (CL), clasificada como suelo tipo S2 según la norma E.030, condición coherente con Shi et al. (2024). De forma concordante, Khatiwada et al. (2023) y Huaripata et al. (2020) evidencian que suelos intermedios generan demandas sísmicas diferenciadas respecto a suelos rígidos o blandos, influyendo en desplazamientos, derivas y cortante basal.

Espectros sísmicos para análisis modal espectral y tiempo – historia

A partir de la recolección de datos básicos de la estructura según la norma E.030 (MVCS, 2018), se formó el espectro de diseño para el análisis modal espectral (Figura 9) de acuerdo a los datos de la Tabla 4, mientras que para el análisis tiempo historia se formularon los casos de carga sísmica de la Tabla 5 y Figura 10, 11 y 12

Tabla 4. Parámetros para la formación del espectro de diseño de análisis modal espectral de la estructura de la Institución educativa N° 10386 en Chota, Cajamarca.

Descripción	Símbolo	Valor		Unid.	Observación
		X	Y		
Factor de zona	Z	0.25	0.25		Chota, Z2
Factor de uso e importancia.	U	1.5	1.5		Cat. "A2"-Esenciales
Factor de suelo.	S	1.2	1.2		Suelos Intermedios S2
Coeficiente de reducción de solicitaciones sísmicas inicial.	R0	8	8		Sistema de Pórticos De Concreto Armado en X e Y
Factor de Irregularidad en Altura	Ia	1	1		No presenta irregularidad
Factor de Irregularidad en Planta	Ip	1	1		No presenta irregularidad

Descripción	Símbolo	Valor		Unid.	Observación
		X	Y		
Coefficiente de reducción de sollicitaciones sísmicas final.	R	8	8		$R=R_o * I_a * I_p$
Gravedad	g	9.81	9.81	m/seg ²	
Periodo que define el inicio de la zona del espectro	TL	2	2	seg	
Periodo que define la plataforma del espectro.	TP	0.6	0.6	seg	

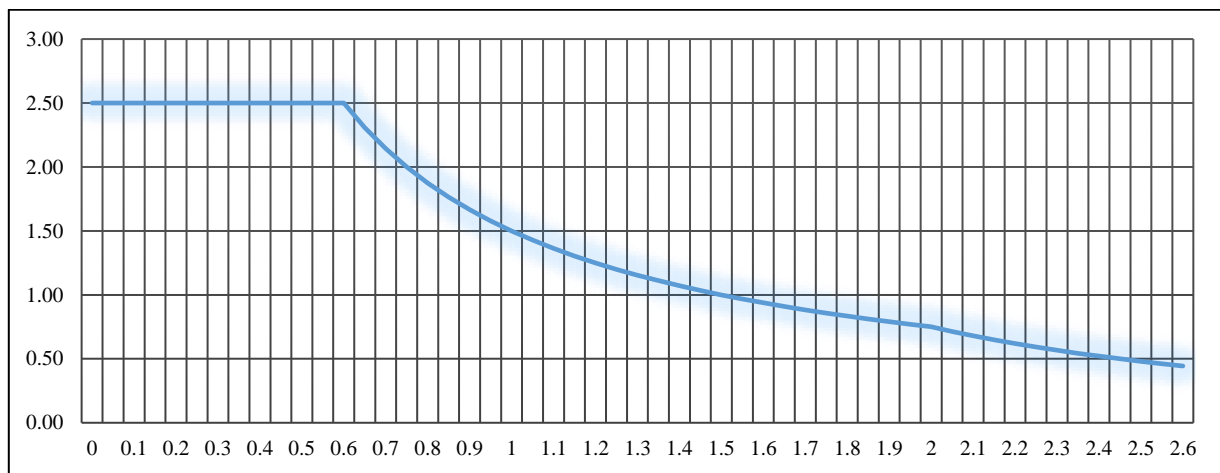


Figura 9. Espectro de respuesta de la institución educativa N° 10386

Tabla 5. Casos de carga sísmica para la institución educativa N° 10386

Sismos	Casos	X	Y	N° de puntos	Intervalo de tiempo	Factor escalamiento (FE)
Loreto (26 de junio de 2019)	1	EO	NS	25583	0.02	20.35
	2	NS	EO	25583	0.02	20.35
Cajamarca (03 de agosto de 2020)	Caso 1	EO	NS	12001	0.02	3554.07
	Caso 2	NS	EO	12001	0.02	3554.07
Amazonas (28 de noviembre, 2021)	Caso 1	EO	NS	25001	0.01	45.41
	Caso 2	NS	EO	25001	0.01	45.41

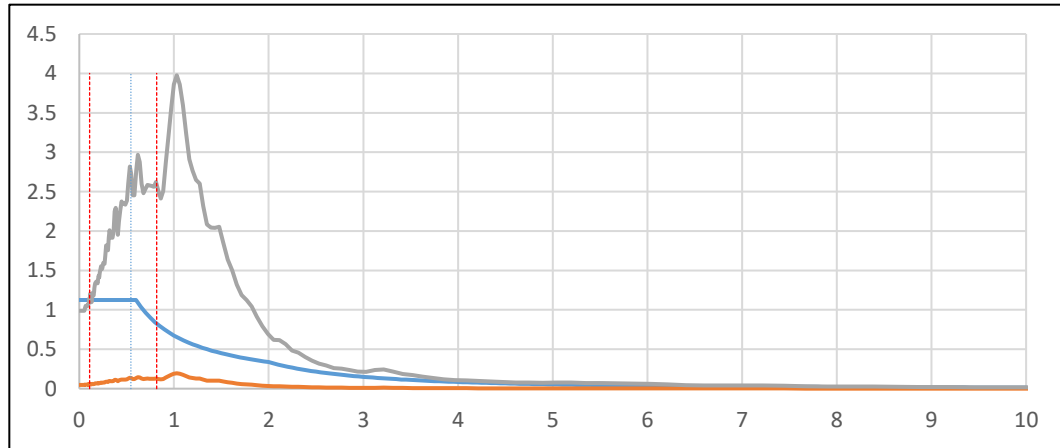


Figura 10. Espectro del Sismo de Loreto para la institución educativa N° 10386

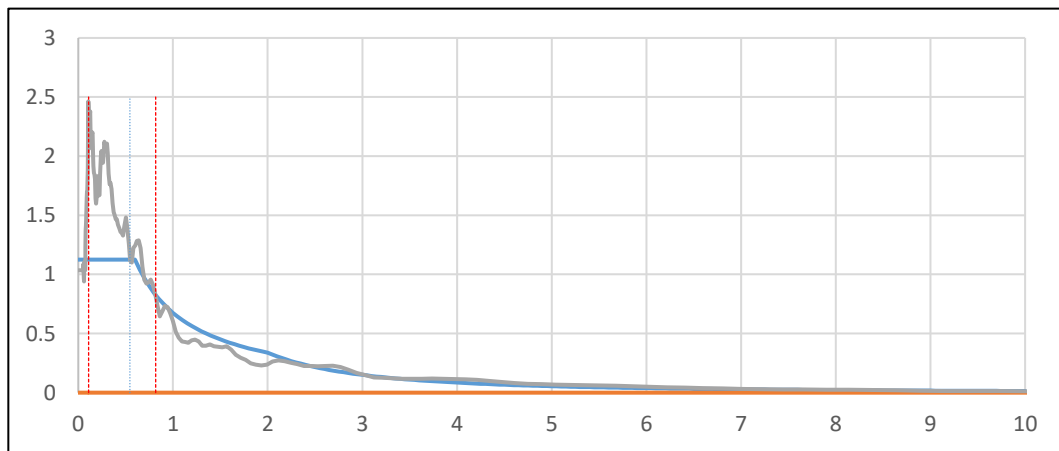


Figura 11. Espectro del Sismo de Cajamarca para la institución educativa N° 10386

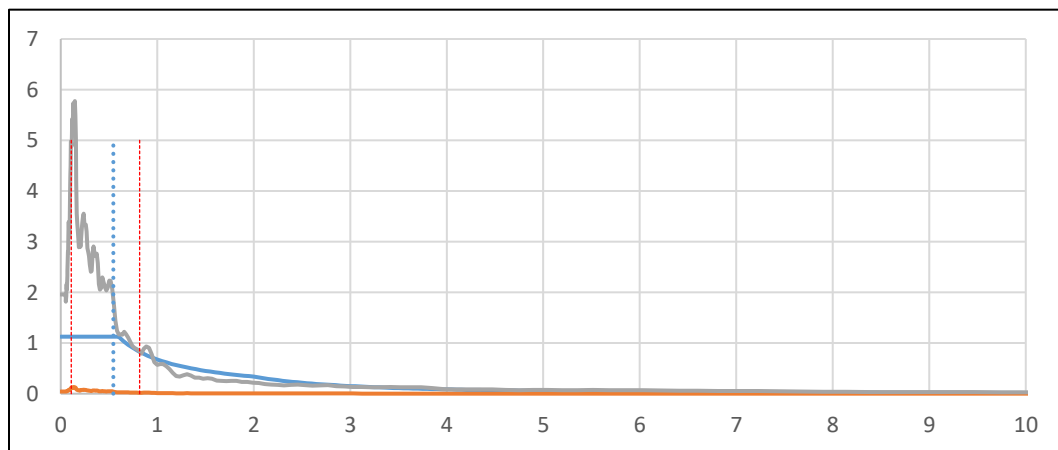


Figura 12. Espectro del Sismo de Amazonas para la institución educativa N° 10386

Resultados similares fueron obtenidos por Shi et al. (2024) y Khatiwada et al.

(2023), quienes utilizaron espectros específicos del sitio. En el análisis tiempo-

historia, se usaron tres registros sísmicos, cumpliendo con los lineamientos metodológicos de Taberero et al. (2024) y Sabogal & Barboza (2021). Ahora bien, Altiok et al. (2024), emplearon eventos sísmicos similares, lo que resalta la relevancia de las condiciones sísmicas locales. Gastulo & Puyen (2024), trabajaron en esa misma línea, pero con la diferencia en la selección del tercer registro sísmico debido a la ubicación.

Análisis sísmico dinámico modal espectral

El Módulo N° 1 no cumple con los criterios de la norma E.030, puesto que

el porcentaje de la cortante dinámica es inferior a 80% y la deriva en Y es superior al 0.7%. Entre tanto, el Módulo N° 2 cumple con el criterio de la norma E.030 para el porcentaje de la cortante dinámica, pero no cumple con el criterio de las derivas máximas, ya que ambas derivas son superiores a 0.7%. Siendo así, el Módulo N° 1, falla tanto en el criterio de la cortante dinámica como en el de deriva en Y, de esta manera es más vulnerable a fallas estructurales durante un sismo. Por otro lado, el Módulo N° 2, cumple con el criterio de cortante dinámica, sin embargo, excede los límites de deriva en ambas direcciones (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis modal espectral para el pabellón N° 2 de la institución educativa. N° 10386 Cuyumalca

Edificio de la I.E. N° 10386	Análisis modal espectral				
	Módulo	Módulo N° 1		Módulo N° 2	
		Dirección	X	Y	X
Cortante en la base (ton) Estática		18.35	18.35	33.46	33.46
Cortante en la base (ton) Dinámica		9.46	12.98	30.25	28.10
Porcentaje de la cortante dinámica (%)		51.5%	70.7%	90.4%	84.0%
Factor de escala		1.55	1.13	1.00	1.00
Momento volcante (ton-m)		51.489	70.532	181.52	168.61
Desplazamiento máximo inelástico (cm)		4.50	4.75	6.37	10.13
Deriva máxima (%)		0.65%	0.99%	0.99%	1.64%

El análisis sísmico dinámico modal espectral reveló que tanto el Módulo 1 como el Módulo 2 no cumplen con los criterios de la norma E.030, de este modo, se afirma que la seguridad estructural frente a sismos es baja. El Módulo N° 1 presentó un cortante

dinámico inferior al 80% en ambas direcciones, lo que aumenta el riesgo de colapso estructural. Resultados similares fueron reportados por Khatiwada et al. (2023) y Ricalde (2019) analizando las cortantes, derivas y desplazamientos. Además, la deriva en Y (0.99%) excede el

límite normativo de 0.7%, lo que podría generar daños irreparables, Resultados similares fueron reportados por Quispe (2021) trabajando para un edificio de vivienda de 14 pisos en Lima.

Por otro lado, los desplazamientos inelásticos en la dirección Y fueron de 4.75 cm, menores que los alcanzados por un edificio de 12 pisos en Ecuador (9.32 cm) (Villavicencio & Luzuriaga, 2022), pero aun así significativos. En contraste, el Módulo N° 2 mostró un cortante dinámico aceptable, pero las derivaciones en ambas direcciones superaron el 0.7%, al respecto Altiok et al. (2024) indicaron que las derivaciones pueden exceder los límites normativos incluso cuando se cumplen las fuerzas cortantes. El desplazamiento máximo inelástico del Módulo 2 fue de 10.13 cm, sugiriendo un mayor riesgo de daños

permanentes. Por tanto, ambos módulos requieren intervenciones para cumplir con la norma E.030 y mejorar su capacidad sísmica.

Análisis sísmico dinámico tiempo – historia

En general, el Pabellón N° 2 presentó porcentajes de cortante dinámica que cumplen con los requisitos de la norma E.030 para todos los sismos y módulos analizados. Ahora bien, las derivas máximas exceden el límite establecido de 0.7% en la mayoría de los casos, especialmente en el sentido Y, lo que, indica que la estructura del Pabellón N° 2 tendría un comportamiento inadecuado ante eventos sísmicos en este sentido, especialmente aquellos de mayor intensidad como el sismo de Amazonas y Loreto (indicar el año de la ocurrencia de esos sismos) (Tabla 7).

Tabla 7. Detalles del análisis tiempo – historia para el pabellón N° 2 de la institución educativa N° 10386

Módulos	N° 1 y N° 2
Sismos	Amazonas, Loreto, Cajamarca
Sentidos	Oeste – Este y Norte – Sur
Dirección	X e Y

Para un evento telúrico como el sismo de Amazonas, en el módulo N° 1 el porcentaje de la cortante dinámica cumple con los requisitos de la norma E.030 tanto en el sentido X (719%) como en el sentido Y (1012%); sin embargo, la deriva máxima excede el límite establecido de 0.7% en el sentido X (1.45%) y en el sentido Y (0.99%). Así

mismo, en el módulo N° 2 el porcentaje de la cortante dinámica cumple con los requisitos de la norma E.030 tanto en el sentido X (663%) como en el sentido Y (543%), sin embargo, la deriva máxima excede el límite establecido de 0.7% en ambos sentidos: X (1.30%) e Y (2.00%) (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis Sísmico Dinámico Tiempo – Historia para el Pabellón N° 2 de la institución educativa N° 10386 Cuyumalca, Sismo de Amazonas

Módulo	Módulo N° 1		Módulo N° 2	
	Oeste – Este	Norte – Sur	Oeste – Este	Norte – Sur
	X	Y	X	Y
Cortante en la base (ton) Estática	18.352	18.352	33.459	33.459
Cortante en la base (ton) Dinámica	131.981	185.70	221.955	181.846
Porcentaje de la cortante dinámica	719%	1012%	663%	543%
Factor de escala	1	1	1	1
Momento volcante (ton-m)	829.46	770.58	1270.957	936.863
Desplazamiento máximo (cm)	8.12	8.28	8.10	10.97
Deriva máxima (%)	1.45%	0.99%	1.30%	2.00%

Para un evento telúrico como el sismo de Loreto ocurrido en el año 2019, en el Módulo N° 1 el porcentaje de la cortante dinámica cumple con los requisitos de la norma E.030 tanto en el sentido X (510%) como en el sentido Y (944%). La deriva máxima excede el límite establecido de 0.7% en el sentido Y (1.75%), y en el

sentido X (0.95%). Así mismo, en el módulo N° 2, el porcentaje de la cortante dinámica cumple con los requisitos de la norma E.030 tanto en el sentido X (639%) como en el sentido Y (1438%), pero la deriva máxima excede el límite establecido de 0.7% en ambos sentidos: X (1.1%) e Y (4.3%) (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis Sísmico Dinámico Tiempo – Historia para el Pabellón N° 2 de la institución educativa N° 10386 Cuyumalca, Sismo de Loreto

Módulo	Módulo N° 1		Módulo N° 2	
	Oeste – Este	Norte – Sur	Oeste – Este	Norte – Sur
	X	Y	X	Y
Cortante en la base (ton) Estática	18.352	18.352	33.459	33.459
Cortante en la base (ton) Dinámica	93.65	173.20	213.734	481.152
Porcentaje de la cortante dinámica	510%	944%	639%	1438%
Factor de escala	1	1	1	1
Momento volcante (ton-m)	517.10	914.25	1087.564	2545.834
Desplazamiento máximo (cm)	6.46	9.00	7.20	28.35
Deriva máxima (%)	0.95%	1.75%	1.1%	4.3%

Para un evento telúrico como el sismo de Cajamarca ocurrido en el año 2020, en el módulo N° 1 el porcentaje de la cortante dinámica cumple con los requisitos de la

norma E.030 tanto en el sentido X (450%) como en el sentido Y (482%), así mismo, algunas de las derivas máximas se encuentran dentro del límite establecido

de 0.7% en ambos sentidos, aunque en el piso N° 2 no cumplen debido a que, alcanzan respectivamente en: X (0.72%) e Y (0.99%). Pero, en el módulo N° 2 si bien el porcentaje de la cortante dinámica cumple con los requisitos de la

norma E.030 tanto en el sentido X (767%) como en el sentido Y (681%); la deriva máxima excede el límite establecido de 0.7% en ambos sentidos: X (1.4%) e Y (2.2%) (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis sísmico dinámico tiempo – historia para el pabellón N° 2 de la institución educativa N° 10386 Cuyumalca, Sismo de Cajamarca

Módulo	Módulo N° 1		Módulo N° 2	
	Oeste – Este	Norte – Sur	Oeste – Este	Norte – Sur
	X	Y	X	Y
Cortante en la base (ton) Estática	18.352	18.352	33.459	33.459
Cortante en la base (ton) Dinámica	82.50	88.47	256.495	227.739
Porcentaje de la cortante dinámica	450%	482%	767%	681%
Factor de escala	1	1	1	1
Momento volcante (ton-m)	496.72	452.93	1383.537	1229.424
Desplazamiento máximo (cm)	4.99	4.84	9.12	13.82
Deriva máxima (%)	0.72%	0.99%	1.4%	2.2%

El análisis tiempo-historia de la IE N° 10386 Cuyumalca mostró que su desempeño estructural en los Módulos N° 1 y N° 2 es insuficiente frente a sismos como los de Amazonas, Loreto y Cajamarca. En el Módulo N° 1, el cortante dinámico supera el cortante estático, no obstante, las derivas máximas superan lo establecido por la norma E.030, lo que aumenta el riesgo de daños irreparables, resultados similares fueron determinados por Shi et al. (2024) estudiando una columna en Estados Unidos.

Los desplazamientos inelásticos fueron de hasta 8.28 cm, lo que indica una deformación considerable. Al respecto, Altiok et al. (2024) indica que el 6 de

febrero de 2023, dos terremotos significativos azotaron Pazarcık y Elbistan/Kahramanmaraş con magnitudes de 7.7 y 7.6, respectivamente, obteniendo derivas y desplazamientos similares en otras edificaciones de concreto armado. El Módulo 2 presentó derivaciones que superaron los límites normativos, especialmente en el sismo de Loreto, donde la deriva en Y fue de 4.30%, al respecto, Cevallos (2022) y Villavicencio & Luzuriada (2022) indican que estos resultados son similares a los obtenidos para un edificio de 9 pisos en Ambato y un edificio con disipadores de energía tipo viscoelástico en Manabí.

El desplazamiento inelástico máximo fue de 10.97 cm en el Módulo N° 2 durante el sismo de Amazonas, lo que refleja una gran vulnerabilidad estructural. Resultados similares fueron determinados por Taberero et al. (2024) estudiando un colegio en Estados Unidos. Ahora bien, en ambos módulos pueden resistir las fuerzas sísmicas en términos de cortante basal, las derivas y desplazamientos inelásticos observados sugieren la necesidad urgente de refuerzos estructurales, las mismas indicaciones lo realizaron Cabrera (2022) y Yaipen (2024).

Comparación del análisis dinámico

El análisis tiempo-historia mostró valores mayores en momentos volcantes, desplazamientos y derivaciones en comparación con el análisis modal espectral. El momento volcánico en el sismo de Loreto fue 1296.22% mayor en el análisis tiempo-historia. Las derivaciones también fueron más altas, con 4.30% en el Módulo N° 2 para Loreto, frente a 1.64% en el análisis modal espectral. Estas diferencias indican que el análisis tiempo-historia ofrece una evaluación más conservadora (Tabla 11). El análisis tiempo-historia de la IE N° 10386 proporciona una evaluación más detallada y conservadora que el análisis modal espectral, revelando mayores momentos volcantes, desplazamientos y derivaciones. Estos resultados se deben a que el análisis tiempo-historia captura efectos no lineales y acumulativos, entre tanto, que

el modal espectral utiliza un enfoque simplificado.

En el sismo de Loreto, los momentos volcantes y desplazamientos inelásticos fueron 1296.22% y 279.86% mayores, respectivamente. Las derivaciones también fueron más altas, con una derivación máxima de 4.30% en el Módulo 2, superando el límite normativo. Esto resalta la necesidad de reforzar la estructura, tal y como sugieren Khatiwada et al. (2023) y Villavicencio & Luzuriada (2022). Además, se infiere que el análisis tiempo-historia ofrece una visión más realista de las demandas sísmicas y debe complementarse con el análisis modal espectral.

CONCLUSIONES

El análisis modal espectral mostró que ambos módulos incumplen la Norma E.030. El Módulo N° 1 falla por insuficiente resistencia sísmica (cortantes <71%), mientras que el Módulo N°2, a pesar de ser resistente, presenta una deriva excesiva (1.64%), lo que indica alta flexibilidad.

El análisis tiempo-historia confirma la alta vulnerabilidad estructural de la Institución educativa N° 10386. Ambos módulos superan ampliamente los límites de deriva ante sismos severos, con valores de hasta 4.30%, exponiendo la edificación a un riesgo inminente de daño estructural severo o colapso.

Tabla 11. Variaciones (%) en los resultados del análisis tiempo – historia de la I.E. N° 10386 respecto al análisis modal espectral

Sismo	Amazonas		Loreto		Cajamarca	
	Sentido		Sentido		Sentido	
	Oeste – Este	Norte – Sur	Oeste – Este	Norte – Sur	Oeste – Este	Norte – Sur
Dirección	X	Y	X	Y	X	Y
Módulo	Módulo N° 1		Módulo N° 1		Módulo N° 1	
Cortante (ton) Estática	100.01%	100.01%	100.01%	100.01%	100.01%	100.01%
Cortante (ton) Dinámica	1395.15%	1430.66%	989.96%	1334.36%	872.09%	681.59%
Porcentaje de la cortante	1396.12%	1431.40%	990.29%	1335.22%	873.79%	681.75%
Factor de escala	64.52%	88.50%	64.52%	88.50%	64.52%	88.50%
Momento volcante (ton-m)	1610.95%	1092.53%	1004.29%	1296.22%	964.71%	642.16%
Desplazamiento máximo (cm)	180.44%	174.32%	143.56%	189.47%	110.89%	101.89%
Deriva máxima (%)	223.08%	100.00%	146.15%	176.77%	110.77%	100.00%
Módulo	Módulo N° 2		Módulo N° 2		Módulo N° 2	
Cortante (ton) Estática	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Cortante (ton) Dinámica	733.74%	647.14%	706.56%	1712.28%	847.92%	810.46%
Porcentaje de la cortante	733.41%	646.43%	706.86%	1711.90%	848.45%	810.71%
Factor de escala	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Momento volcante (ton-m)	700.17%	555.64%	599.14%	1509.90%	762.20%	729.15%
Desplazamiento máximo (cm)	127.16%	108.29%	113.03%	279.86%	143.17%	136.43%
Deriva máxima (%)	131.31%	121.95%	111.11%	262.20%	141.41%	134.15%

Financiamiento

“Los autores no recibieron financiamiento o patrocinio para ejecutar el trabajo de investigación”

Conflicto de intereses

“No existe ningún tipo de interés con los contenidos del artículo científico”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AbdelMalek, H., Hassan, T. K., & Moustafa, A. (2022). Nonlinear time history analysis evaluation of optimized design for medium to high rise buildings using performance-based design. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(4), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102081>

Altıok, T. Y., Şevik, M., & Demir, A. (2024). Seismic performance of retrofitted and non-retrofitted RC school buildings after the February 6th, 2023, Kahramanmaraş earthquakes. *Bulletin of Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s10518-024-01941-w>

Brunelli, A., de Silva, F., Piro, A., Parisi, F., Sica, S., Silvestri, F., & Cattari, S. (2021). Numerical simulation of the seismic response and soil–structure interaction for a monitored masonry school building damaged by the 2016 Central Italy earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(2), 1181-1211. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00980-3>

Cabrera, E. T. (2022). Evaluación del comportamiento estructural con disipadores de energía de fluido viscoso del edificio de enfermería de

la Universidad Nacional Autónoma de Chota [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].

Cárdenas, O., Farfán, A., & Huaco, G. (2020). Seismic risk assessment of Peruvian public school buildings using FEMA P-154 rapid visual screening. En 2020 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI) (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CONIITI51147.2020.9240369>

Cevallos, J. W. (2022). Diseño por capacidad partiendo de un análisis comparativo entre el método modal espectral y el método tiempo historia con el uso de acelerogramas sintéticos y la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015; de un edificio de 9 pisos en estructura metálica [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/36417>

Di Ludovico, M., Cattari, S., Verderame, G. M., Del Vecchio, C., Ottonelli, D., Del Gaudio, C., ... Lagomarsino, S. (2023). Fragility curves of Italian school buildings: Derivation from L’Aquila 2009 earthquake damage via observational and heuristic approaches. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 21(1), 397-432. <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01535-4>

El Comercio. (2021). Terremoto en Amazonas: Todo lo que se sabe del sismo de 7.5 de magnitud que remeció el Perú. <https://elcomercio.pe/peru/terr>

- emoto-en-amazonas-todo-lo-que-se-sabe-del-sismo-de-75-de-magnitud-que-remecio-el-peru-igp-pedro-castillo-temblor-nndc-noticia/ESCALE. (2024). Ficha de datos de la I.E. N° 10386. Ministerio de Educación del Perú. <https://escale.minedu.gob.pe/padron-de-iiie>
- Gálvez, D. A., & Ortiz, I. S. (2022). Aplicación del análisis dinámico tiempo historia para evaluar la influencia del refuerzo estructural en los edificios aislados de clase A sometidos a registros sísmicos con diferentes mecanismos de falla en Ica-Perú [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC. <http://hdl.handle.net/10757/664285>
- Gastulo, W., & Puyen, B. (2024). Evaluación del desempeño sísmico de la I.E. N° 10022 Miguel Muro Zapata, empleando un análisis no lineal tiempo – historia [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/9462>
- Hassan, E. M., Mahmoud, H. N., & Ellingwood, B. R. (2020). Resilience of school systems following severe earthquakes. *Earth's Future*, 8(10), e2020EF001518. <https://doi.org/10.1029/2020EF001518>
- Huaripata, F., Torres, J. F., & Orihuela, J. (2020). Comparative analysis of the seismic response of an essential and a common building using site spectra and dynamic modal spectral analysis according to South American standards. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 910(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/910/1/012008>
- Instituto Nacional de Calidad. (2017). NTP 339.171 SUELOS. Método de ensayo normalizado para el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas drenadas (1ª ed.).
- Instituto Nacional de Calidad. (2019). NTP 339.127 SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo (1ª ed.).
- Instituto Nacional de Calidad. (2019). NTP 339.128 SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico (1ª ed.).
- Instituto Nacional de Calidad. (2019). NTP 339.129 SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos (1ª ed.).
- Instituto Nacional de Calidad. (2020). NTP 339.181 CONCRETO. Determinación del número de rebote del concreto endurecido. Método de ensayo (3ª ed.).
- Khatiwada, P., Hu, Y., Lumantarna, E., & Menegon, S. J. (2023). Dynamic modal analyses of building structures employing site-specific response spectra versus code response spectrum models. *CivilEng*, 4(1), 134-150. <https://doi.org/10.3390/civileng4010009>
- Llamo, G. Y. (2024). Vulnerabilidad sísmica del pabellón J de la Institución Educativa Emblemática Santa Teresita – Cajamarca [Tesis de pregrado,

- Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/6430>
- López, P. L. (2004). Población, muestra y muestreo. *Punto Cero*, 9(8), 69-74. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012
- Magisano, D., Corrado, A., Madeo, A., & Garcea, G. (2022). A reduced order model for nonlinear time history seismic analyses of elasto-plastic 3D frame structures. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 51(9), 2055-2076. <https://doi.org/10.1002/eqe.3653>
- Magisano, D., Corrado, A., Madeo, A., & Garcea, G. (2023). Nonlinear time history seismic analysis of inelastic 3D frame buildings in a reduced modal space. *Procedia Structural Integrity*, 44, 456-463. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.01.060>
- Municipalidad Provincial de Chota. (2000). Expediente técnico: Mejoramiento del servicio educativo en la I.E. N° 10386 Cuyumalca, distrito de Chota - Cajamarca.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma E.030 Diseño sismorresistente. Reglamento Nacional de Edificaciones. https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E030_RM-355-2018-VIVIENDA_Peruano.pdf
- Quispe, P. J. (2021). Comparación entre análisis dinámico tiempo-historia en sismos frecuentes y análisis espectral para un edificio de vivienda de 14 pisos [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/18648>
- Ramos-Galarza, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica: Revista de Divulgación Científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 10(1), 1-7. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7890336>
- Ricalde, G. Y. (2019). Análisis dinámico comparativo Modal espectral Vs Tiempo historia de una estructura con muros de ductilidad limitada, Villa el Salvador- 2019 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/49656>
- Ruhl, C. J., Melgar, D., Chung, A. I., Grapenthin, R., & Allen, R. M. (2019). Quantifying the value of real-time geodetic constraints for earthquake early warning using a global seismic and geodetic data set. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124(4), 3819-3837. <https://doi.org/10.1029/2018JB016935>
- Sabogal, G. A., & Barboza, G. A. (2021). Comparación de la respuesta dinámica de la estructura de una vivienda de desarrollo progresivo de

- dos pisos con aislación sísmica en la ciudad de Bogotá [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia].
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2023, 5 de agosto). Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional. Estación Chota (Latitud 6°33'14.58", Longitud 78°40'33.15", 2261 msnm). <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Shi, M., Wang, P., Xu, X., & Choi, Y. (2024). Nonlinear time history analysis for the different column orientations under seismic wave synthetic approach. *World Journal of Engineering and Technology*, 12(3), 587-616. <https://doi.org/10.4236/wjet.2024.123038>
- Souroushian, A., & Wriggers, P. (2023). Test of an idea for improving the efficiency of nonlinear time history analyses in seismic analysis according to NZS 1170.5: 2004. En *Recent Trends in Wave Mechanics and Vibrations* (pp. 1-10). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15758-5_10
- Spinelli, P., Salvatori, L., Lancellotta, R., & Betti, M. (2023). Preliminary assessment of the seismic behaviour of Giotto's bell tower in Florence. *International Journal of Architectural Heritage*, 17(1), 23-45. <https://doi.org/10.1080/15583058.2022.2145527>
- Tabernero, R., Ambrosini, D., & Curadelli, O. (2024). Retrofitting of typical existing school buildings through seismic vulnerability assessment. *Journal of Physics: Conference Series*, 2647(3), 032005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2647/3/032005>
- Villavicencio, E. G., & Luzuriaga, C. M. (2022). Análisis comparativo no lineal dinámico tiempo historia de un edificio convencional y un edificio con disipadores de energía tipo viscoelástico [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Repositorio Institucional UNESUM. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4281>
- Yaipen, A. A. (2024). Evaluación del desempeño sísmico mediante análisis dinámico no lineal de la Institución Educativa Miguel Muro Zapata, Lambayeque, 2022 [Tesis de maestría, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional UPT. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/3367>

Contribución de autoría

1. Luis Alex Cabrera Delgado:
Concepción y elaboración del manuscrito:
Primer autor.
2. Elmer Natividad Chávez Vásquez:
Concepción y elaboración del manuscrito:
Segundo autor.

Recibido: 10-07-2025 Aceptado: 30-12-2025 Publicado: 31-12-2025