

# Evaluación de las Prestaciones de un Edificio de Categoría Especial con Disipadores de Energía Dependientes de la Velocidad

## Performance Assessment of a Special Category Building with Velocity-Dependent Energy Dissipators

Jennifer Elizabeth Pino Arguello<sup>1</sup>[0009-0004-8386-5786], Raúl Alexis Salazar Flores<sup>2</sup>[0000-0001-6483-2613],  
Diana Carolina Merino Gavilanes<sup>3</sup>[0009-0002-3581-8833]

<sup>1, 2,3</sup> Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba. Ecuador

<sup>1</sup> [jennifer.pino@unach.edu.ec](mailto:jennifer.pino@unach.edu.ec), <sup>2</sup> [raul.salazar@unach.edu.ec](mailto:raul.salazar@unach.edu.ec), <sup>3</sup> [diana.merino@unach.edu.ec](mailto:diana.merino@unach.edu.ec)

### CITA EN APA:

Pino Arguello, J. E., Salazar Flores, R. A., & Merino Gavilanes, D. C. (2025). Evaluación de las Prestaciones de un Edificio de Categoría Especial con Disipadores de Energía Dependientes de la Velocidad. *Tesla Revista Científica*, 5(1), e467. <https://doi.org/10.55204/trc.v5i1.e467>

Recibido: 2024-12-19

Revisado: 2025-01-21 al 2025-02-26

Corregido: 2025-03-06

Aceptado: 2025-04-01

Publicado: 2025-04-05

### TESLA

Revista Científica

ISSN: 2796-9320



Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras. The contents of this article are under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. The authors retain the moral and patrimonial rights of their works.

### Resumen:

**Introducción:** La seguridad y funcionalidad de los edificios de categoría especial son críticas para garantizar su operatividad durante y después de eventos sísmicos. A pesar de los avances en tecnologías de disipación de energía, y disipadores dependientes de la velocidad

**Objetivo:** Analizar el desempeño de una estructura de categoría especial equipada con disipadores de energía dependientes de la velocidad, tipo viscoso lineal, evaluando su comportamiento a diversas acciones sísmicas comparables con el espectro de diseño

**Métodos:** Se emplea un enfoque cuantitativo y experimental utilizando procedimientos para evaluar el desempeño de una estructura de categoría especial, equipada con disipadores de energía dependientes de la velocidad de tipo viscoso lineal.

**Resultados:** Los resultados más relevantes fueron: La edificación evaluada demuestra un desempeño estructural robusto y seguro bajo condiciones sísmicas y la eficacia de los disipadores de energía son una solución técnica viable y eficiente para aumentar la resiliencia de estructuras críticas, minimizando riesgos para la vida humana y garantizando la continuidad operativa.

**Conclusiones:** La estructura analizada demuestra un desempeño favorable frente a eventos sísmicos gracias a la implementación de disipadores viscosos lineales, cumpliendo con los criterios de diseño de columna fuerte y los parámetros normativos para edificios esenciales

**Palabras clave:** Disipadores, edificio de categoría especial, energía dependiente de la velocidad, evaluación, evaluación de las prestaciones.

### Abstract:

**Introduction:** The safety and functionality of special category buildings are critical to guarantee their operability during and after seismic events. Despite advances in power dissipation technologies such as speed-dependent heatsinks.

**Objective:** Analyze the performance of a special category structure equipped with linear viscous type velocity-dependent energy dissipators, evaluating its behavior at various seismic actions comparable to the design spectrum

**Methods:** A quantitative and experimental approach is employed using procedures to evaluate the performance of a special category structure, equipped with linear viscous type velocity-dependent energy dissipators.

**Results:** The most relevant results were: The evaluated building demonstrates a robust and safe structural performance under seismic conditions and the effectiveness of energy dissipators are a viable and efficient technical solution to increase the resilience of critical structures, minimizing risks to human life and guaranteeing operational continuity.

**Conclusions:** The analyzed structure demonstrates favorable performance against seismic events thanks to the implementation of linear viscous dissipators, meeting the strong column design criteria and regulatory parameters for essential buildings.

**Keywords:** Heatsinks, special category building, speed-dependent energy, evaluation, performance evaluation.

## INTRODUCCIÓN

En la ingeniería estructural moderna, la evaluación precisa de las prestaciones de estructuras equipadas con disipadores de energía dependientes de la velocidad presenta desafíos significativos debido a la falta de estudios integrales que consideren su comportamiento dinámico bajo diferentes escenarios sísmicos. Esta limitación impide establecer con certeza su eficacia en la mitigación de daños, el control de derivados de piso y la reducción de vulnerabilidad estructural, lo que pone en riesgo tanto la seguridad de los ocupantes como la inversión económica (Espinoza, 2024).

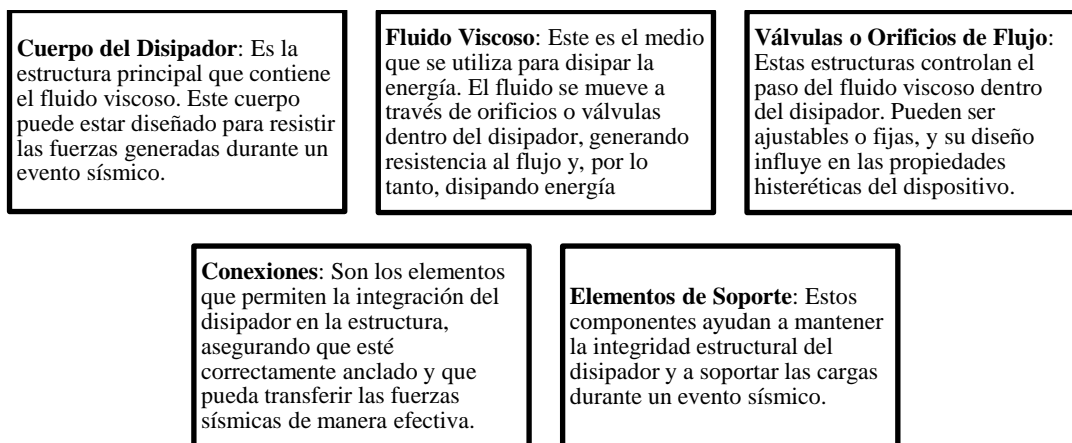
Los disipadores son dispositivos diseñados para absorber y disipar la energía generada durante eventos sísmicos, con el objetivo de reducir los daños en las estructuras. Existen diferentes tipos de disipadores, entre los cuales se destacan los dependientes del desplazamiento y los dependientes de la velocidad. Los disipadores dependientes de la velocidad, en particular, aumentan el amortiguamiento estructural, lo que permite que la estructura soporte mejor las fuerzas sísmicas, reduciendo así los esfuerzos y desplazamientos que puede experimentar (Pino, 2022).

Según Narváez (2019) los disipadores dependientes del desplazamiento son dispositivos que se utilizan en la ingeniería estructural para mitigar los efectos de las fuerzas sísmicas en las edificaciones. En particular, se refiere a los disipadores histeréticos, como los del tipo ADAS, que funcionan en función del desplazamiento de la estructura. Estos dispositivos absorben y disipan la energía generada por el movimiento sísmico, ayudando a reducir las derivas y el daño estructural durante un sismo.

Por otra parte, Ponce (2023) menciona que los disipadores dependientes de la velocidad son dispositivos diseñados para absorber y disipar la energía generada durante eventos sísmicos, basándose en la velocidad de movimiento de la estructura. Estos disipadores buscan mejorar la respuesta sísmica de las estructuras al reducir las fuerzas y desplazamientos que experimentan durante un terremoto. Además, pueden reducir los esfuerzos inducidos por un sismo en la estructura hasta en un 50% en comparación con una estructura que no cuenta con disipadores, lo que ayuda a minimizar los daños inelásticos en la estructura (Pino, 2022).

Dentro de estos dispositivos dependientes de la velocidad se resalta a los disipadores viscosos son dispositivos utilizados en la ingeniería sísmica que aportan amortiguamiento suplementario a las estructuras. Su función principal es disipar la energía sísmica durante un evento sísmico mediante el flujo de líquidos viscosos en su interior. Esto ayuda a limitar las distorsiones entre pisos y actúa como elementos fusibles, lo que significa que pueden absorber y controlar el daño en la estructura (Rodríguez-Castellanos et al., 2024).

La Figura 1 presenta la composición de los disipadores viscosos, estos componentes trabajan en conjunto para permitir que los disipadores viscosos absorban y disipen la energía generada por las vibraciones sísmicas, mejorando así la respuesta de la estructura durante un terremoto.



**Figura 1.** Composición de los disipadores viscosos

En este contexto, Colunga y García (2024) mencionan que un espectro de diseño es una representación gráfica que muestra la respuesta esperada de un sistema estructural a diferentes niveles de aceleración sísmica, en función de su período de vibración. En el contexto del diseño sísmico, se utiliza para determinar las fuerzas y desplazamientos que una estructura.

Puede experimentar durante un sismo Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (2011). El diseño se basa en el espectro de Costa Rica, considerando que este país, con su ubicación costera, presenta una sismicidad de nivel medio-alto. Para definir este espectro, se establece una ductilidad global en la estructura, tomando en cuenta factores estructurales como la regularidad, la ductilidad y el plano estructural esto permite determinar un coeficiente sísmico.

$$C = \frac{a_{ef} I FED}{SR}$$

$C$  = Coeficiente Sísmico

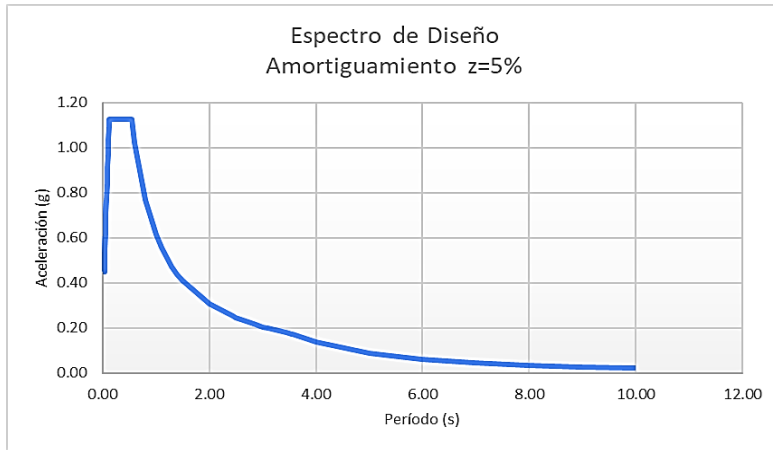
$a_{ef}$  = Aceleración Pico en Tierra Efectiva

$I$  = Factor de Importancia

$SR$  = Sobre Resistencia. Definida para cada Tipo Estructural como sigue:  $SR = 2.0$  para Marcos de Tipos Estructurales, Doble y Muro con Métodos Estático o de Superposición Modal  $SR = 1.2$  para Tipos Estructurales de Vigas Movedizas u Otros con Métodos Estático o de Superposición Modal o todos los Tipos Estructurales con Métodos No Lineales.

$FED$  = Factor Espectral Dinámico, dependiente de la Zona Sísmica, clasificación de Tipo de Sitio, Ductilidad Global Asignada de la Estructura y su Período Natural.

La Figura 2 muestra el espectro de Costa Rica, donde se considera que, para el diseño, se empleó el espectro elástico sin la aplicación de factores de reducción, quedando definido de la siguiente manera:



**Figura 2.** Espectro de diseño de Costa Rica

Para excitar las estructuras con diferentes niveles de intensidad sísmica, es necesario ajustar las amplitudes de los movimientos sísmicos registrados mediante un factor de escala. Este factor es un valor numérico que multiplica la historia de aceleraciones del registro, de manera que la ordenada espectral correspondiente al periodo fundamental de la estructura analizada alcanza una intensidad específica. Dicha intensidad está vinculada a un período de retorno

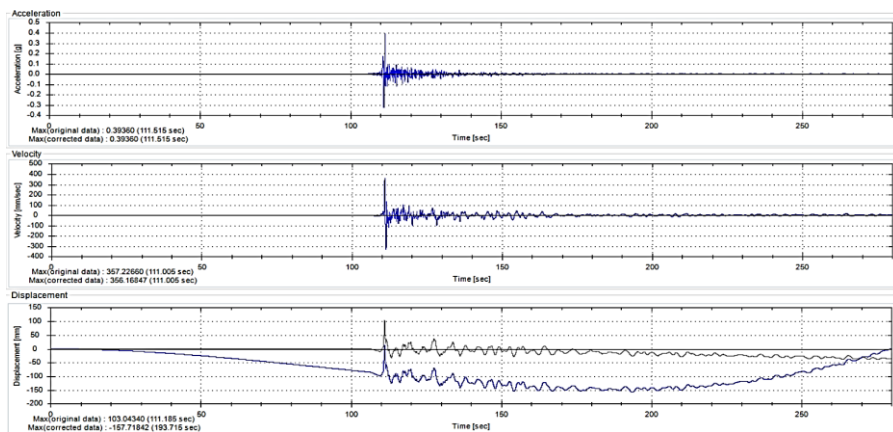
Es preferible que el factor de escalada se aproxime a la unidad y se recomienda que su valor esté entre 0,25 y 4,0. Para escalar los acelerogramas, se adopta el criterio de que el punto correspondiente al periodo fundamental, proyectado en el espectro de diseño de la estructura en la dirección de aplicación del acelerograma, sea comparable con los espectros elásticos de los acelerogramas seleccionados. Así, se descartan aquellos que presenten factores de escalada superiores a los valores recomendados.

Previo a realizar el procesado de los acelerogramas se utiliza el programa prism-2021(Pino, 2022), realizando los siguientes pasos básicos:

1. Se procede a cargar el acelerograma al programa prism-2021, tomando en consideración las unidades en las que se encuentra el archivo de datos y el paso de tiempo (dt) correspondiente.
2. Se realiza la una verificación rápida, observando si los valores del acelerograma se encuentran desplazados respecto a la línea cero de la aceleración, para corregirlos el programa realiza la doble integración de la línea base.

Posteriormente, se solicita al programa que genere el espectro elástico de respuesta, colocando el valor del amortiguamiento viscoso del 5%.

La Figura 3 muestra la corrección línea base del acelerograma, refiriéndose al proceso de ajustar el registro de aceleración para eliminar el fenómeno de deriva de la línea de base, que significa que la línea base se aleja del eje del tiempo (Mora et al., 2024).

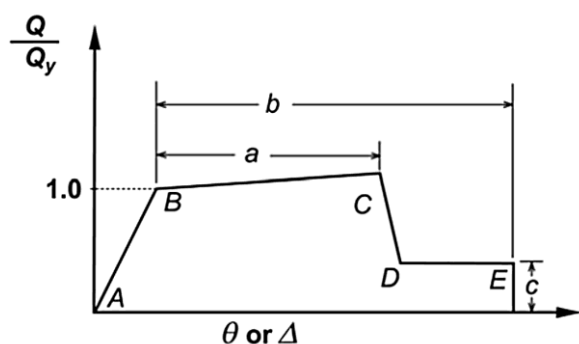


**Figura 3.** Corrección línea base del acelerograma

Para definir las rótulas plásticas conforme a la normativa Federal Emergency Management Agency (2000), se considera incorporar al modelo computacional un enfoque de plasticidad concentrada. Este modelo incluye la relación momento-rotación que describa el comportamiento plástico de las vigas y pilares en las zonas donde la sección se plastifica. En este caso, para el análisis estático no lineal (Pushover) y dinámico no lineal (NLDA), se utiliza rótulas plásticas automáticas provistas por el programa SAP2000.

Estas rótulas cumplen con los lineamientos establecidos en la normativa Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (2021). y son equivalentes a las definidas por Federal Emergency Management Agency (2000). Para simplificar el modelo, se restringen los desplazamientos de los extremos de los elementos a 0.05 y 0.95 de su longitud total, aplicando esta configuración tanto en vigas como en pilares. Adicionalmente, para los pilares, se consideró la inclusión de los esfuerzos axiales resultantes del análisis para garantizar una representación adecuada de su comportamiento.

La Figura 4 muestra la curva elástico- plástica de una rotula donde se identifican cuatro tramos distintivos: el tramo AB representa la zona elástica de la rótula, donde el material conserva su rigidez inicial. El tramo BC corresponde a la zona plástica, en la cual la rigidez disminuye debido a la deformación permanente. En el tramo CD se observa una pérdida parcial o total de la resistencia, lo que indica la falla de la rótula. Finalmente, el tramo DE refleja la capacidad residual que conserva la rótula después de la redistribución de los esfuerzos.



**Figura 4.** Curva elástico - plástica de una rotula según FEMA- 356

El nivel de desempeño se define como una condición límite basada en tres aspectos fundamentales: los posibles daños físicos en los componentes estructurales y no estructurales, la amenaza a la seguridad de

los ocupantes y la funcionalidad de la edificación después de un terremoto (Corratgé et al., 2022). Según Federal Emergency Management Agency (2000), se identifican cuatro niveles básicos de desempeño sismorresistente: ocupación inmediata, seguridad para la vida, prevención de colapso y colapso. Además, se establecen rangos de desempeño estructural en función de las derivas permitidas, que se detallan a continuación.

La Tabla 1 muestra los cuatro niveles de desempeño de manera simplificada, adoptados por la normativa, donde se describe el nivel de seguridad y funcionalidad de una estructura tras un evento sísmico.

**Tabla 1.** Niveles de desempeño para Steel Moment Frames FEMA-356

<b>Structural Performance Levels</b>	<b>Drift</b>
Immediate Occupancy	<1 %
Life safety	1.0 – 2.5 %
Collapse Prevention	2.5%-5%
Collapse	>5%

Ocupación Inmediata (IO) indica que la edificación conserva resistencia y rigidez iniciales, siendo estructuralmente segura para su uso. Seguridad para la Vida (LS) refiere a un daño que afecta principalmente elementos no estructurales, con bajo riesgo de lesiones mortales. Prevención al Colapso (CP) implica daños significativos en componentes estructurales y no estructurales, con deterioro de resistencia y rigidez, pero la estructura aún soporta cargas gravitatorias, aunque con desplazamientos permanentes. Finalmente, el estado de Colapso (Co) representa daños estructurales irreparables que comprometen completamente la edificación Federal Emergency Management Agency (2000).

El comportamiento sísmico de edificios de categoría especial es un desafío crítico en ingeniería estructural. Sin embargo, existe una falta de evaluación detallada sobre la eficiencia y las prestaciones específicas de los disipadores de energía dependientes de la velocidad instalados en estas estructuras, lo que genera incertidumbre en su capacidad para garantizar la seguridad estructural y optimizar el rendimiento frente a eventos sísmicos.

El objetivo general de este estudio es analizar el desempeño de una estructura de categoría especial equipada con disipadores de energía dependientes de la velocidad, tipo viscoso lineal, evaluando su comportamiento ante diversas acciones sísmicas comparables con el espectro de diseño. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos: diseñar la estructura principal considerando cargas gravitatorias, dimensionar los disipadores de energía conforme al EUROCÓDIGO 8 (EN 1998).

Realizar evaluaciones y comprobaciones del sistema completo (estructura principal y sistema de disipación de energía), llevar a cabo un análisis dinámico incremental utilizando sismos representativos del espectro de diseño, evaluar el comportamiento estructural mediante el análisis de derivados de piso, y obtener las curvas de vulnerabilidad y fragilidad. Esta investigación es una síntesis de la tesis titulada “Evaluación de las Prestaciones de un Edificio de Categoría Especial con Disipadores de Energía Dependientes de la Velocidad” (Pino, 2022).

## METODOLOGÍA

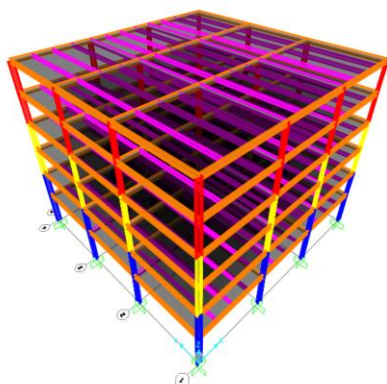
La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo y experimental, en el cual se lleva a cabo el dimensionamiento de la estructura principal, un análisis estático lineal (Pushover), el diseño de disipadores dependientes del desplazamiento, el procesamiento de acelerogramas, un análisis dinámico no lineal y curvas histéricas. Estos procedimientos se utilizarán para evaluar el desempeño de una estructura de categoría especial, equipada con disipadores de energía dependientes de la velocidad de tipo viscoso lineal, analizando su comportamiento frente a diversas acciones sísmicas y comparando los resultados con el espectro de diseño.

### Dimensionado de la estructura principal

Para el desarrollo de esta investigación se realiza un prototipo donde el dimensionamiento de la estructura principal considera las combinaciones de cargas no sísmicas y utiliza el valor de ductilidad correspondiente al tipo DC3. Este valor contempla la capacidad de la estructura para desarrollar un mecanismo plástico global en el estado límite SD, además de incorporar criterios de sobrerresistencia, deformación y disipación de energía a nivel local.

En cuanto al modelado, se lo realiza en una estructura especial de seis plantas en el software SAP-2000 V23. El nivel 1 cuenta con una altura de 4,5 m, mientras que los niveles 2 al 6 tienen alturas de 3,6 m. La distribución incluye tres vanos, simétricos en ambas direcciones, con una luz intermedia de 8,4 m y luces exteriores de 9 m.

Se consideró que la edificación tuviera una ocupación especial y que su diseño fuera en estructura metálica. Para el dimensionamiento, se aseguró que la estructura fuera capaz de soportar al menos las cargas gravitatorias, cumpliendo con los requisitos del nivel de ductilidad seleccionado la Figura 5 presenta el modelado en 3D propuesta para el diseño.



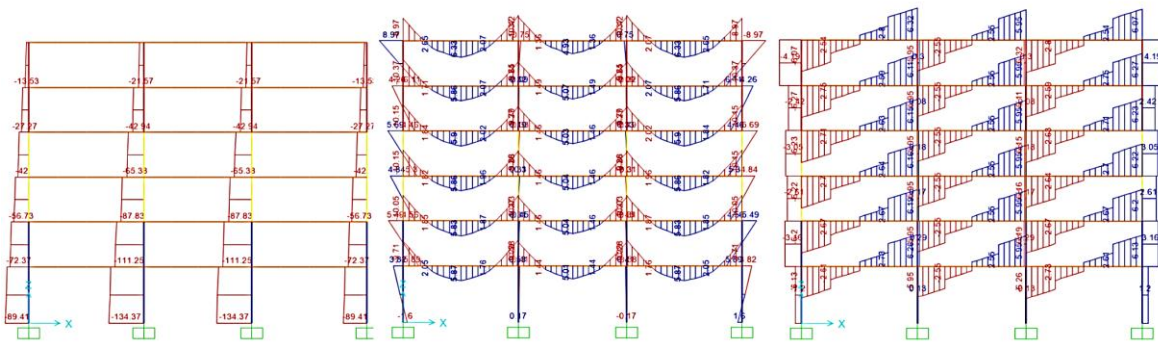
**Figura 5.** Modelado 3D de la estructura

La edificación se clasifica como de ocupación especial, considerando valores de sobrecargas y cargas muertas conforme al tipo de uso y ocupación de los espacios. Para ello, se consideran las disposiciones establecidas en la normativa de diseño (CRSC, 2010). En la Tabla 2 se aplican los siguientes parámetros:

**Tabla 2.** Cargas permanentes a nivel de entrepiso y techo

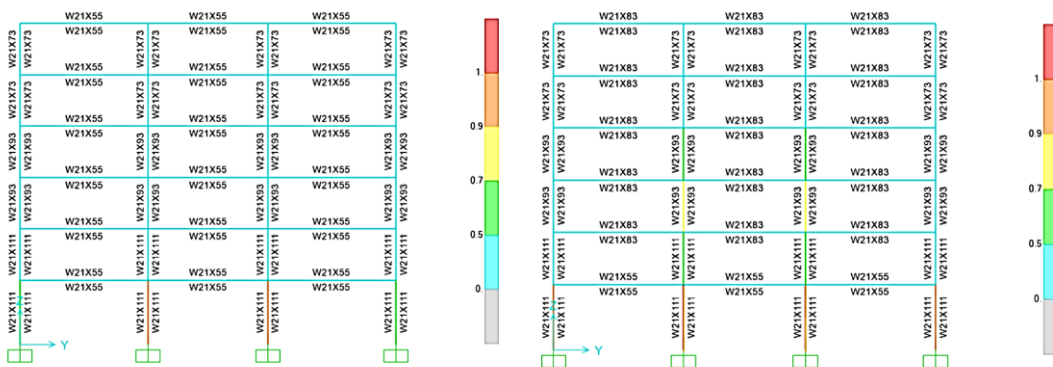
Parámetro	Magnitud (kgf/m <sup>2</sup> ) Nivel de entrepiso	Magnitud (kgf/m <sup>2</sup> ) Nivel de techo
Sistema Metaldeck	278	278
Acabado de piso	70	70
Cielo raso (incluye armazón)	20	20
Instalaciones electromecánicas	20	20
Divisiones livianas	70	-
<b>Total</b>	<b>458</b>	<b>288</b>

Posteriormente las secciones de los elementos se determinaron en función de los cortantes y momentos derivados de la combinación de carga gravitacional, identificada como la más crítica en este caso específico. A continuación, en la Figura 6 se presentan los resultados correspondientes al pórtico más representativo.



**Figura 6.** Diagramas de fuerza axial, momentos y cortantes del pórtico

A continuación, se seleccionan los perfiles que cumplen con los criterios de diseño, aplicando las mismas secciones para ambas direcciones. Posteriormente, se realiza el chequeo de las secciones seleccionadas conforme a la normativa American Institute of Steel Construction (2016), obteniendo ratios con valores inferiores a 1, lo cual garantiza que la interacción entre flexión, tensión, corte y compresión cumpla con los requisitos de diseño bajo la combinación de carga crítica. Dado que se trata de una estructura simétrica en ambas direcciones, se presentan los resultados de los dos pórticos representativos: extremo y medio, reflejados en la Figura 7.

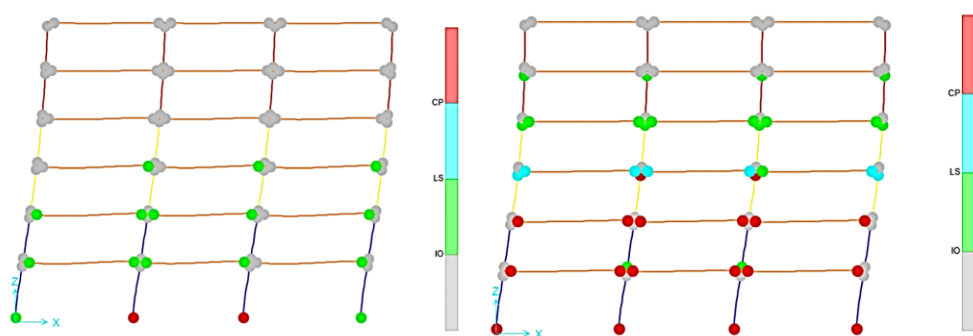


**Figura 7:** Chequeo de secciones según la AISC-360 (2016).

**Análisis estático lineal (Pushover)**

El objetivo de este análisis pushover es determinar la capacidad de la estructura. A partir del diseño previo de la edificación, se colocan las rótulas plásticas en el programa tanto para las vigas como para las columnas, siguiendo los criterios establecidos en el Federal Emergency Management Agency (2000). Dada la simetría de la estructura, se puede representar mediante un modelo bidimensional utilizando un solo pórtico, seleccionando el pórtico de carga en el extremo.

La Figura 8 muestra que el daño se concentra en las plantas 1 y 2, que están en el nivel de colapso. La planta 3 se encuentra en el nivel de seguridad para la vida, mientras que las plantas 4, 5 y 6 están en el nivel de ocupación inmediata. El comportamiento de las rótulas en la estructura, tal como está diseñada, corresponde al criterio de "viga débil - columna fuerte".



**Figura 8.** Rótulas plásticas en el inicio de la plastificación y en el momento de fallo

Para este análisis, se optó por definir un caso de carga pushover mediante la introducción manual de cargas a través de un patrón de carga, manteniendo una proporción con el desplazamiento del primer modo multiplicado por la masa en cada planta (Mendoza et al., 2022). La carga se aplica de manera controlada, con un desplazamiento máximo del 15% de la altura del pórtico para verificar el colapso o una primera caída de resistencia (Flores, 2021). Se controlan los desplazamientos del nudo de control en la última planta y se registran los pasos intermedios para obtener una curva de capacidad bien definida.

### **Diseño de disipadores dependientes del desplazamiento**

Se opta por colocar los disipadores en disposición diagonal, considerando que el desplazamiento axial del amortiguador en esta posición es menor o igual a la distorsión de entrepiso de la edificación, lo que podría reducir la eficiencia del sistema (Guzmán & Angulo, 2022). No obstante, se elige esta disposición debido a que es la más común en instalaciones in situ. Para llevar a cabo el predimensionamiento de los disipadores viscosos, se siguen los siguientes pasos detallados en la Tabla 3.



**Tabla 3.** Predimensionamiento de los disipadores viscosos

Predimensionamiento de los disipadores viscosos																									
Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto																					
Determinar un valor para la fracción de amortiguamiento del 22%, utilizando el primer modo de vibración con mayor masa participativa en la dirección de análisis.	Calcular un período "ficticio", que corresponde al período que tendría la estructura si se consideraran los muelles que aportarían la rigidez en la dirección horizontal de análisis.	Estimar la rigidez elástica lateral de cada planta mediante las curvas obtenidas con el análisis Pushover. Planta 1: 73.20 Kn/mm Planta 2: 57.05 Kn/mm Planta 3: 50.62 Kn/mm Planta 4: 48.62 Kn/mm Planta 5: 44.76 Kn/mm Planta 6: 39.33 Kn/mm	Se asume una rigidez lateral tentativa de los muelles ficticios, tomando en consideración que la matriz de rigidez de la estructura debe ser proporcional a la matriz de amortiguamiento (Escribá, 2024), se procede a modelar la estructura con los muelles en el programa Sap2000 y el período resultante debe ser similar al periodo ficticio calculado, se puede permitir un margen de error menor al 5%.	Calcular los coeficientes de amortiguamiento $C_i$ (lateral) y $C_j$ (axial) en cada una de las plantas.																					
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Planta</th> <th><math>C_i</math> (kN.s/mm)</th> <th><math>C_j</math> (kN.s/mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>9.81</td> <td>12.63</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>7.65</td> <td>9.05</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>6.79</td> <td>8.03</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>6.52</td> <td>7.71</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>6.00</td> <td>7.10</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>5.27</td> <td>6.24</td> </tr> </tbody> </table>	Planta	$C_i$ (kN.s/mm)	$C_j$ (kN.s/mm)	1	9.81	12.63	2	7.65	9.05	3	6.79	8.03	4	6.52	7.71	5	6.00	7.10	6	5.27	6.24
Planta	$C_i$ (kN.s/mm)	$C_j$ (kN.s/mm)																							
1	9.81	12.63																							
2	7.65	9.05																							
3	6.79	8.03																							
4	6.52	7.71																							
5	6.00	7.10																							
6	5.27	6.24																							
		Determinar el desplazamiento en la cubierta <i>droofl</i> asumiendo la plastificación de la estructura principal. Para ello, se utiliza la respuesta en el primer modo de la estructura con disipadores, modelada como un sistema de un grado de libertad. Esto requiere calcular la fracción de amortiguamiento y el período efectivo equivalente mediante las fórmulas correspondientes. Amortiguamiento efectivo:																							
				$\xi_{eff1} = \xi_1 \frac{\left(\frac{T_1}{T_{p1}}\right)}{\sqrt{1 + (\mu_f - 1)\left(\frac{2\xi_{v1}}{\eta_{loss}}\right)}} + \xi_{v1} \left[ \frac{\mu_f}{1 + (\mu_f - 1)\left(\frac{2\xi_{v1}}{\eta_{loss}}\right)} \right]^{1-0,5a} + \xi_H = 0.309$																					
				Amortiguamiento que proporcionan los disipadores viscosos lineales:																					
				$\xi_{v1} = \frac{T_1 \sum_{s=1}^N \left\{ \sum_{j=1}^{n_s} C_j \cos^2 \theta_j \right\} \phi_{rs1}^2}{4\pi \sum_{s=1}^N (m_s \phi_{s1}^2)} = 0.2152$																					
				Energía disipada mediante deformaciones plásticas:																					
				$\xi_H = \frac{2F_H}{\pi} \left( \frac{1}{1 + (\mu_f - 1)\left(\frac{2\xi_{v1}}{\eta_{loss}}\right)} - \frac{1}{\mu_f} \right) = 0.032$																					
				Período efectivo:																					

$$T_{eff1} = T_1 \sqrt{\frac{\mu_f}{1 + (\mu_f - 1)(2\xi_{v1}/\eta_{loss})}} = 2.167 \text{ s}$$

Desplazamiento máximo de techo:

$$d_{roof1} = G_1 S_{De}(T_{eff1}, 5\%) h(T_{eff1}, x_{eff1}) = 231.208 \text{ mm}$$

Factor corrector por amortiguamiento:

$$\eta = \sqrt{\left[10 + \frac{T_c(\xi - 5)}{T_c + 30T}\right] / (5 + \xi)} = 0.533$$

Se emplea un valor de  $T_c = 0.55T_c = 0.55$ , obtenido de la curva del espectro elástico, que corresponde al punto donde finaliza el tramo de aceleración constante. Además, se adopta un factor de ajuste  $FH = 0.5F_H = 0.5FH = 0.5$  con el objetivo de garantizar un diseño conservador.

### Séptimo

Calcular el cortante máximo que va a experimentar el sistema idealizado, con los valores de desplazamiento y cortante. Donde se realiza la comparación con los valores de desplazamiento en cubierta y cortante fijados de la curva de capacidad de la estructura.

$$V_{b1 \max} = m_{eff1} S_e(T_{eff1}, 5\%) \eta(T_{eff1}, \xi_{eff1}) = 2566.64 \text{ kN}$$

Valores de desplazamiento y cortante de la curva de capacidad.

$$d_{roof1, allow} = 270 \text{ mm} \quad V_{py,1} = 2997.27 \text{ kN}$$

Se hace la verificación de los valores seleccionados

$$d_{roofy} = \frac{V_{py,1} T_{p1}^2 \Gamma_{p1}}{4\pi^2 m_{peff1}} = 242.67 \text{ mm}$$

$$\mu_f = \frac{d_{roof1}}{d_{roofy}} = 1.11$$

Se compara estos valores con los obtenidos en el paso 7 y se comprueba que la diferencia es menor que el 5% permitido, por lo que se continua con el proceso de comprobación.

## Procesado de Acelerogramas

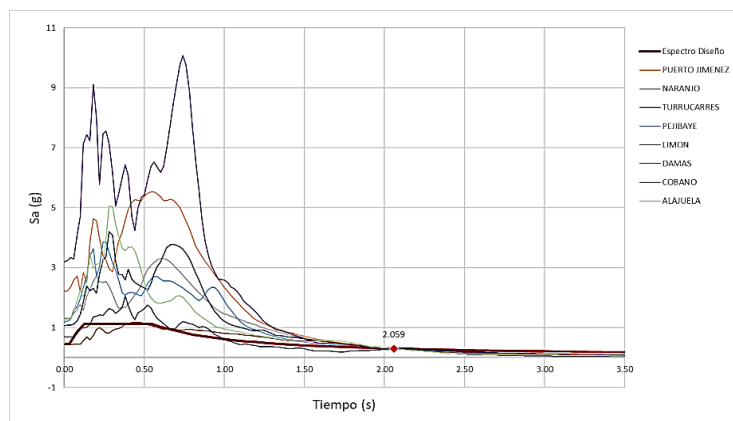
Para el cálculo dinámico posterior, se seleccionaron varios acelerogramas reales de Costa Rica. Se tomó en cuenta que, para realizar análisis dinámicos no lineales, la respuesta debe evaluarse utilizando al menos siete acelerogramas, con el fin de verificar los estados límite de la estructura, la Tabla 4 muestra los acelerogramas seleccionados.

**Tabla 4.** Acelerogramas

Evento	Fecha	Magnitud	Epicentro	Factor de escala
Alajuela	22/12/1990	6.00	Alajuela	2.89
Cobano	25/03/1990	7.00	Cobano de Puntarenas	1.77
Damas	20/11/2004	6.2	Damas de Aguirre	4.5
Naranjo	12/05/2019	6.4	5 km al NNO de laurel de corredores	3.32
Puerto Jiménez	17/08/2018	6.20	10 km al ENE de Puerto Jiménez	4.59
Pejibaye	10/07/1993	5.80	Pejibaye de Jiménez	5.7
Samara	05/09/2012	7.60	Samara	3.68

Para escalar los sismos, se emplea el período  $T_1=2.054$  s  $T_1 = 2.054$  s de la estructura en la dirección X. Dado que se trata de una estructura simétrica en ambos sentidos, el análisis se realizará únicamente en esta dirección, como se explicó previamente. Utilizando los espectros elásticos de los sismos seleccionados, se procede a escalarlos a este período específico, obteniendo así un factor de escala que permite ajustar los valores al período del espectro de diseño.

En la Figura 9 se representa en conjunto los sismos escalados y el espectro de diseño en color rojo, los mismos que serán ingresados posteriormente en el programa Sap2000 para el análisis dinámico no lineal del modelo.

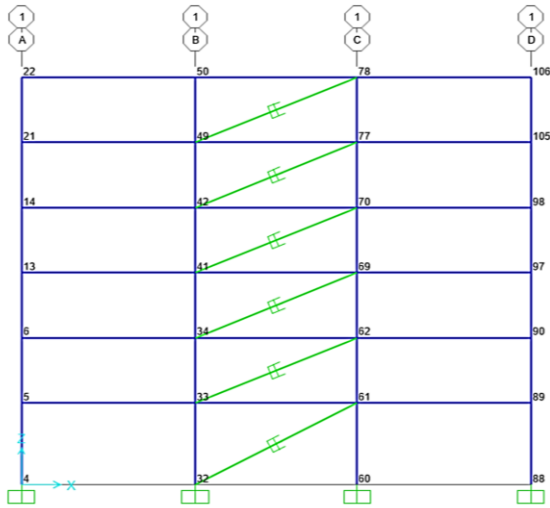


**Figura 9.** Espectros de respuesta elástica  
**Análisis dinámico no lineal**

En el presente estudio se aplicará un NLDA en el plano, para realizar una correcta evaluación por desempeño de la capacidad y demanda. El método utilizado proporciona una respuesta continua del sistema que se encuentra sometido a cargas sísmicas, pasando por la parte elástica y posteriormente su parte plástica hasta alcanzar el colapso de la estructura (Núñez et al., 2021).

## Curvas Histeréticas del muelle

Al utilizar los disipadores del tipo viscoso lineal, la curva histéresis esperada debe mostrar tendencia semi-elíptica, siendo la manera en cómo los dispositivos disipan la energía introducida en la edificación. En la Figura 10 se evidencia que existen seis disipadores de energía uno por planta, se consideraron 154 análisis dinámicos no lineales.



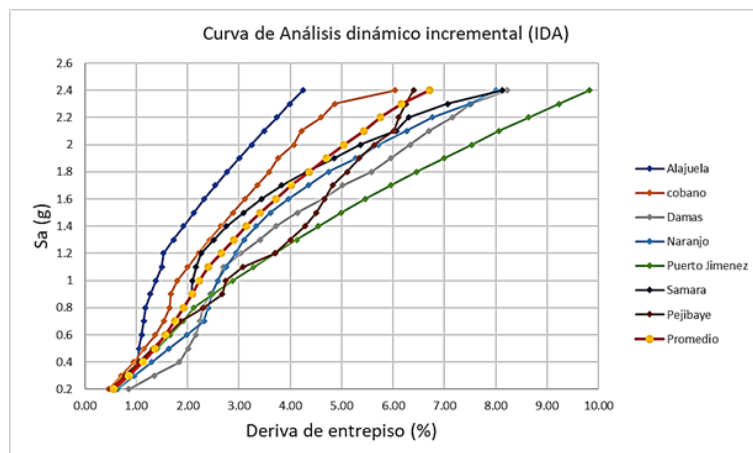
**Figura 10.** Ubicación de los disipadores de energía en la estructura  
**RESULTADOS**

La Tabla 5 presenta un cuadro resumen sobre los desplazamientos absolutos máximos de entrepiso, mismos desplazamientos generan curvas IDA que demuestran el comportamiento de la estructura de manera simplificada ante el registro de los eventos.

**Tabla 5.** Resumen de derivas de entrepiso máximas para cada incremento de g (1.3-2.4)

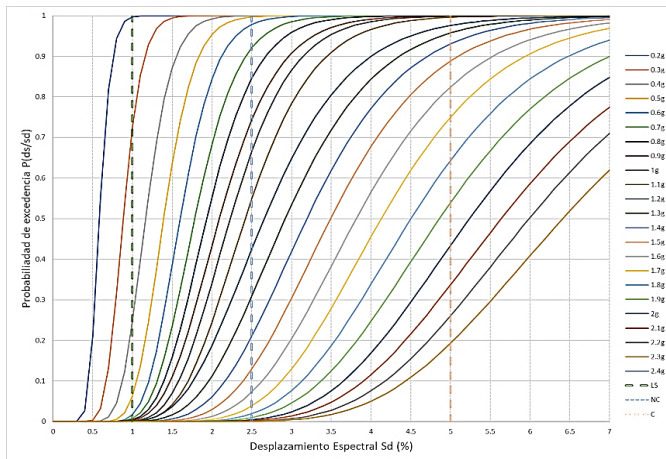
Intensidad	Deriva Entrepiso Máxima (%)											
	1.3(g)	1.4(g)	1.5(g)	1.6(g)	1.7(g)	1.8(g)	1.9(g)	2(g)	2.1(g)	2.2(g)	2.3(g)	2.4(g)
<b>Alajuela</b>	1.72	1.92	2.12	2.33	2.54	2.77	3.00	3.24	3.49	3.74	3.99	4.24
<b>Cobano</b>	2.42	2.65	2.88	3.12	3.36	3.59	3.76	4.07	4.22	4.60	4.86	6.03
<b>Damas</b>	3.41	3.72	4.14	4.65	5.02	5.58	5.96	6.33	6.70	7.15	7.52	8.22
<b>Naranjo</b>	3.10	3.33	3.61	3.97	4.35	4.74	5.27	5.72	6.26	6.76	7.50	8.00
<b>Puerto Jiménez</b>	4.12	4.54	4.99	5.46	5.95	6.46	6.99	7.53	8.06	8.64	9.23	9.82
<b>Pejibaye</b>	4.00	4.29	4.50	4.67	4.82	5.11	5.34	5.63	6.01	6.11	6.25	6.40
<b>Samara</b>	2.51	2.76	3.09	3.44	3.84	4.33	4.85	5.36	6.06	6.30	7.06	8.12

La Figura 11 representa los desplazamientos máximos, donde se menciona que para cada incremento de  $S_a$  (g), se puede observar que la estructura se desplaza de manera creciente, pero sin una tendencia lineal, con un promedio de desplazamientos (derivas) de 0.56% a 6.52%, superando el nivel de desempeño máximo para estructuras de acero que es del 5% según Federal Emergency Management Agency (2000), por lo que se decide parar el análisis a 2.4  $S_a$  (g), debido a que, la estructura se encuentra en el nivel de Colapso.



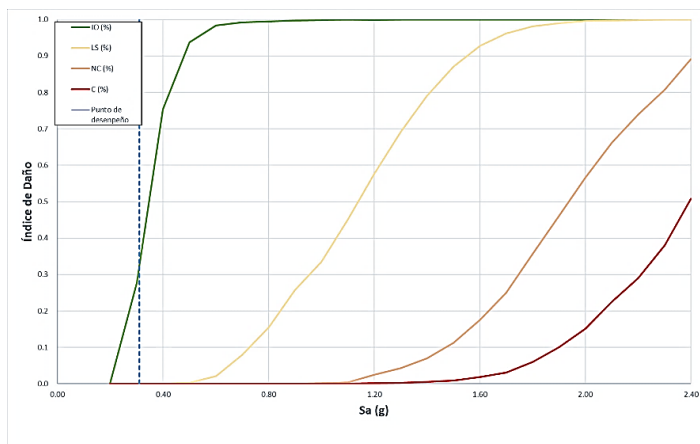
**Figura 11.** Curva IDA de los sismos seleccionados

La Figura 12 evidencia que las curvas de probabilidad de no excedencia siguen una distribución de probabilidad lognormal y se definen a partir de las derivas máximas de piso expresada en porcentaje y la desviación estándar para casa escala de intensidad planteada



**Figura 12.** Curvas de probabilidad de no excedencia

La Figura 13 muestra las curvas de fragilidad donde se define la probabilidad de exceder ciertos estados de daño en la edificación, considerando los cuatro umbrales propuestos por la normativa Federal Emergency Management Agency (2000) procesando los resultados de distribución lognormal realizada en la curva de probabilidad acumulada.



**Figura 13.** Curvas de fragilidad

## CONCLUSIONES

A través del análisis estático lineal del modelo propuesto, se comprobó que, al alcanzar su desplazamiento máximo, la estructura desarrolla primero las rótulas plásticas en las vigas. Esto permite concluir que la edificación cumple con el criterio de diseño de columna fuerte. Por otro lado, mediante el análisis dinámico directo no lineal utilizando sismos reales compatibles con el espectro de diseño, se evidencia un desempeño favorable de la estructura frente a diversos eventos sísmicos. Además, se observará una adecuada capacidad de disipación de energía, manteniéndose dentro de los niveles de daño establecidos por la normativa para edificios de importancia esencial.

El análisis realizado, a partir de las curvas de fragilidad, permite determinar que la estructura equipada con disipadores viscosos lineales presenta un comportamiento favorable bajo diferentes niveles

de aceleración sísmica. Ante una aceleración de 0.31g, correspondiente al espectro de diseño, el nivel de daño más probable es el de "sin daño", con una probabilidad del 88%, seguido por el estado de "ocupación inmediata", con una probabilidad. Para el caso del terremoto máximo creíble (MCE), con una aceleración de 0.465g, se observa que la probabilidad de que la estructura alcance el estado límite de ocupación inmediata es del 0.3%, mientras que la probabilidad de no presentar ningún tipo de daño asciende al 99,7%. Esto indica que la estructura mantiene su resistencia y rigidez originales después del evento sísmico, lo que implica un daño estructural mínimo. En consecuencia, el riesgo de pérdidas o afectaciones a la vida humana se considera

La implementación de disipadores de energía proporciona importantes ventajas, como la reducción significativa del nivel de daño en la estructura, ya que estos dispositivos concentran la energía generada por los eventos sísmicos. Además, los disipadores son fácilmente identificables y reemplazables, lo que facilita su mantenimiento. La incorporación de estos dispositivos también ha permitido disminuir las fuerzas cortantes, las aceleraciones y las derivadas en cada nivel de la edificación, lo que contribuye a reducir los daños tanto en los elementos estructurales como. En resumen, la edificación cumple con los parámetros de desempeño establecidos para una estructura esencial, asegurando un control efectivo del daño en todos sus componentes y garantizando un comportamiento.

## FINANCIACIÓN

Los autores declaran que no recibieron algún tipo de financiación para el desarrollo de la presente investigación.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses con su investigación.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

	Autor 1.	Autor 2	Autor 3
<b>Participar activamente en:</b>			
Conceptualización	X	X	X
Análisis formal	X	X	X
Adquisición de fondos	X	X	X
Investigación	X	X	X
Metodología	X	X	X
Administración del proyecto	X	X	X
Recursos	X	X	X
Redacción –borrador original	X	X	X
Redacción –revisión y edición	X	X	X
La discusión de los resultados	X	X	X
Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.	X	X	X

## REFERENCIAS

- American Institute of Steel Construction (AISC) 360. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings. ANSI/AISC 360-16 An American National Standard*. <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a360-16w-rev-june-2019.pdf>
- Colunga, A., & García, D. (2024). Diseño Sísmico Resiliente de un Edificio Esbelto de Acero Conforme a las Recomendaciones de Aislamiento Sísmico de México. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 29(1), 1-36. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/3135>
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (2011). Código sísmico de Costa Rica 2010(4.ª ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica. <https://www.codigosismico.or.cr/descargas/CSCR2010.pdf>

- Corratgé, Z., Martínez, J., & Cristiá, W. (2022). Influencia de la interacción dinámica suelo-estructura en el mecanismo de colapso y nivel de desempeño de edificaciones de hormigón armado. *Hormigón y acero*, 73(296), 41-53. <https://doi.org/10.33586/hya.2021.3027>
- Escribá, J. (2024). *Estudio, modelización y análisis mediante SAP2000 de la estructura de la Casa del Acantilado de Fran Silvestre (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia)*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/211322>
- Espinoza, V. (2024). Colapso sísmico basado en energía para edificios aporricados de concreto armado equipados con amortiguadores viscosos, Lima 2024. *EVSOS*, 3(2), 46-71. <https://revistaevsos.com/index.php/evsos/article/view/222>
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2000). Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings (FEMA 356). *Federal Emergency Management AGENCY*. <https://www.nehrp.gov/pdf/fema356.pdf>
- Flores, E. (2021). Evaluación del desempeño sismorresistente de una edificación mediante Análisis Estático No lineal Pushover: *Estudio de caso. Journal Boliviano de Ciencias*, 17(50), 56-90. <https://doi.org/10.52428/20758944.v17i50.20>
- Guzmán, R., & Angulo, M. (2022). Evaluación de la metodología de análisis y diseño para edificios aporricados de hormigón armado con la implementación de disipadores viscosos: Avaliação da metodologia de análise e projeto para edifícios de estrutura de portal de concreto armado com a implementação de dissipadores viscosos. *Brazilian Journal of Development*, 59457-59477. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n8-297>
- Mendoza, A, Moreira, D., & García, L. (2022). Análisis no lineal por el método Pushover del edificio de docentes n°1 de la Universidad Técnica de Manabí. *Dominio de las Ciencias*, 8(4), 306-326. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/3038>
- Mora, V., Baque, B., & Moreira, J. (2024). Estudio y recomendaciones del uso de acelerogramas para el análisis dinámico. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 29(2), 276-319. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/3343>
- Narváez, M. (2019). *Análisis Comparativo Técnico-Económico de una Edificación de 12 Pisos, Empleando Amortiguadores de Fluido Viscoso y Disipadores Histeréticos (Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú)*. <https://www.proquest.com/openview/32d381bc3e21bae5b8cccf80d23f231d/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Núñez, F., Ruiz, D., & Cortés, J. (2021). Análisis dinámico no lineal de edificios de acero sometidos a sismos. *Revista ingeniería de construcción*, 36(2), 173-196. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732021000200173>
- Pino, J. (2022). *Evaluación de las prestaciones de un edificio de categoría especial con disipadores de energía dependientes de la velocidad (Tesis Doctoral, Universidad Técnica de Madrid)*. <https://oa.upm.es/70674/>
- Ponce H. (2023). *Desarrollo y aplicación de los métodos basados en el balance energético a estructuras con disipadores dependientes de la velocidad (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica De Madrid)*. <https://n9.cl/86vx7>
- Rodríguez-Castellanos, A., Niño-Lázaro, M., Ruiz-Gómez, S., & Santos-Santiago, M. (2024). Diseño sísmico sustentable de estructuras equipadas con disipadores viscosos. *Ingeniería sísmica*, (112), 72-100. <https://doi.org/10.18867/ris.112.638>
- Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE). (2021). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. (ASCE 41-17)* amiralikhalvati. <https://sp360.asce.org/personifyebusiness/Merchandise/Product-Details/productId/233163464>