

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Análisis de desempeño sísmico de pórticos de concreto armado mejorados
con disipadores de fluido viscoso en un enfoque no lineal**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Jonatan Emilio Sanchez Quispe
Vieri Aimar Alfaro Vera

Asesor:

Ing. David Diaz Garamendi

Co-Asesor:

Ing. Ferrer Canaza Rojas

Lima, enero 2025

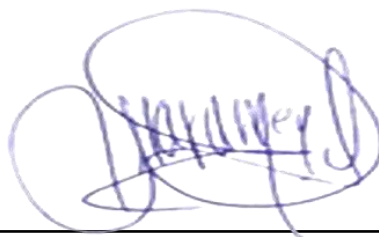
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo *David Díaz Garamendi*, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura., Escuela Profesional de ingeniería civil , de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Análisis de desempeño sísmico de pórticos de concreto armado mejorados con disipadores de fluido viscoso en un enfoque no lineal”** los autores ***Jonatan Emilio Sanchez Quispe y Vieri Aimar Alfaro Vera*** tiene un índice de similitud de 13% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 10 días del mes de enero del año 2025.



Ing. David Díaz Garamendi

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Naña, Villa Unión, a 07 día(s) del mes de mayo del año 2025, siendo las 19:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Mg. Juana Beatriz Aquise Pari Sánchez Flores, el (la) secretario(a): Mg. Armin Quintana Flores y los demás miembros: Dr. Leopoldo Choque

Co-asesor Ing. Ferrer Canaza Rojas y el (la) asesor(a) Ing. David Diaz Garmendi y el

"Análisis del desempeño sísmico de pórticos de concreto armado mejorados con disipadores de fluido viscoso en un enfoque No Lineal"

del(los) bachiller/es: a) Jonatan Emilio Sanchez Quispe

b) Vieri Aimar Alfaro Vera

c)

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Jonatan Emilio Sanchez Quispe

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy bueno

Bachiller (b): Vieri Aimar Alfaro Vera

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Bueno	Muy bueno

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

Esta sustentación fue realizada de manera virtual u online sincrónica según conforme al Reglamento General de Grados y Títulos.

Análisis de desempeño sísmico de pórticos de concreto armado mejorados con disipadores de fluido viscoso en un enfoque no lineal

Seismic performance analysis of reinforced concrete portal frames enhanced with viscous fluid dissipators in a non-linear approach.

J. Sanchez*, V. Aimar*, D. Díaz*, F. Canaza*

* Universidad Peruana Unión - Lima, PERU

* Universidad Peruana Unión - Lima, PERU

Resumen

La incorporación de disipadores de energía en estructuras sismo - resistentes se ha consolidado como una estrategia eficaz para reducir las demandas dinámicas y mejorar el desempeño estructural frente a eventos sísmicos. Este estudio evalúa el impacto de los disipadores de fluido viscoso (FVD) en modelos estructurales de 5, 10 y 15 niveles, desarrollados en el software ETABS V.21, comparándolos con modelos equivalentes sin disipadores sometidos a registros sísmicos peruanos. La metodología incluyó análisis no lineal tiempo - historia, considerando las propiedades mecánicas de los FVD como la no linealidad de los materiales. Los resultados mostraron que los FVD redujeron significativamente las derivas laterales (36.80%, 37.43% y 50.28%) y las fuerzas cortantes en la base (38.55%, 42.96% y 52.48%) en los modelos de 5, 10 y 15 niveles respectivamente. Además, estos disipadores absorbieron entre el 69.09% y el 79.90% de la energía sísmica, logrando que las estructuras alcanzaran un nivel de desempeño “funcional” según los criterios del SEAOC. Estos hallazgos subrayan la eficacia de los FVD como una solución viable para optimizar el diseño de estructuras sismo - resistentes, contribuyendo no solo a la protección estructural, sino también a la seguridad y funcionalidad durante y después de un evento sísmico.

Palabras clave: disipadores de fluido viscoso (FVD), análisis no lineal tiempo - historia, desempeño sísmico.

Abstract

The incorporation of energy dissipaters in earthquake-resistant structures has become an effective strategy to reduce dynamic demands and improve structural performance in seismic events. This study evaluates the impact of viscous fluid dissipaters (VFD) in 5, 10 and 15 level structural models developed in ETABS V.21 software, comparing them with equivalent models without dissipaters subjected to Peruvian seismic records. The methodology included non-linear time-history analysis, considering the mechanical properties of the FVDs as well as the non-linearity of the materials. The results showed that the FVDs significantly reduced lateral drifts (36.80%, 37.43% and 50.28%) and base shear forces (38.55%, 42.96% and 52.48%) in the 5-, 10- and 15-level models, respectively. Furthermore, these dissipaters absorbed between 69.09% and 79.90% of the seismic energy, enabling the structures to reach a ‘functional’ performance level according to the SEAOC criteria. These findings underline the effectiveness of FVDs as a viable solution to optimize the design of seismic-resistant structures, contributing not only to structural protection, but also to safety and functionality during and after a seismic event.

Keywords: Viscous fluid dissipators (FVD), nonlinear time-history analysis, seismic performance.

1. Introducción

El crecimiento urbano ha llevado a un incremento en la construcción de edificaciones verticales, impulsado por la necesidad de aprovechar el espacio y atender la demanda habitacional. Sin embargo, esto genera un desafío crucial: garantizar la seguridad estructural de las edificaciones a eventos sísmicos. Los sismos, por su naturaleza impredecible pueden generar daños en las edificaciones mal diseñadas o sin los mecanismos adecuados de protección. Bajo este parámetro se debe priorizar el diseño de estructuras capaces de resistir las fuerzas sísmicas minimizando los riesgos para las personas y bienes. En este contexto, el uso de Disipadores de Fluido Viscoso (FVD) como mecanismo de protección sísmica ha ido en aumento. (Zhou et al., 2022) menciona que este tipo de dispositivos disipa la energía impuesta por el sismo, permitiendo el control de las respuestas estructurales y la reducción de la demanda de energía en la misma, esto hace que disminuyan los daños estructurales.

Varios estudios realizados han demostrado la efectividad de los FVD lineales o no lineales en la reducción de derivas entrepiso, disipación de energía y cortante en la base independiente del tipo y nivel de la edificación (Faruk et al., 2023; Javaid & Verma, 2023) aplicaron un análisis estático no lineal utilizando el espectro sísmico de respuesta de la normativa IS 1893:2016 para evaluar el desempeño de la estructura, demostrando que los FVD son eficaces en la reducción de la cortante en la base, derivas entrepiso y el desplazamiento horizontal. Así mismo, (Chukka & Krishnamurthy, 2019; Riaz et al., 2023) realizaron un análisis tiempo-historia no lineal en pórticos de Concreto Armado (CA) de mediana altura incorporando FVD, demostrando la reducción, pero de manera más precisa en derivas entrepiso, cortante en base y disipación de energía, además, se resalta la ubicación, la cantidad de disipadores y el porcentaje de amortiguamiento como parámetros necesarios para mejorar el desempeño sísmico.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el desempeño sísmico dinámico no lineal de pórticos de concreto armado de 5, 10 y 15 niveles optimizados mediante disipadores de fluido viscoso (FVD). Para ello, se evalúa el comportamiento de las estructuras ante eventos sísmicos, las métricas de evaluación del desempeño son: derivas entrepisos, porcentaje de energía disipada, reducción de ductilidad, cortante en la base y el daño estructural ocasionado por sismos de gran magnitud registrados en Perú.

2. Materiales y métodos

Para llevar a cabo el análisis por desempeño sísmico en los modelos, se presenta a continuación la secuencia de pasos a seguir:

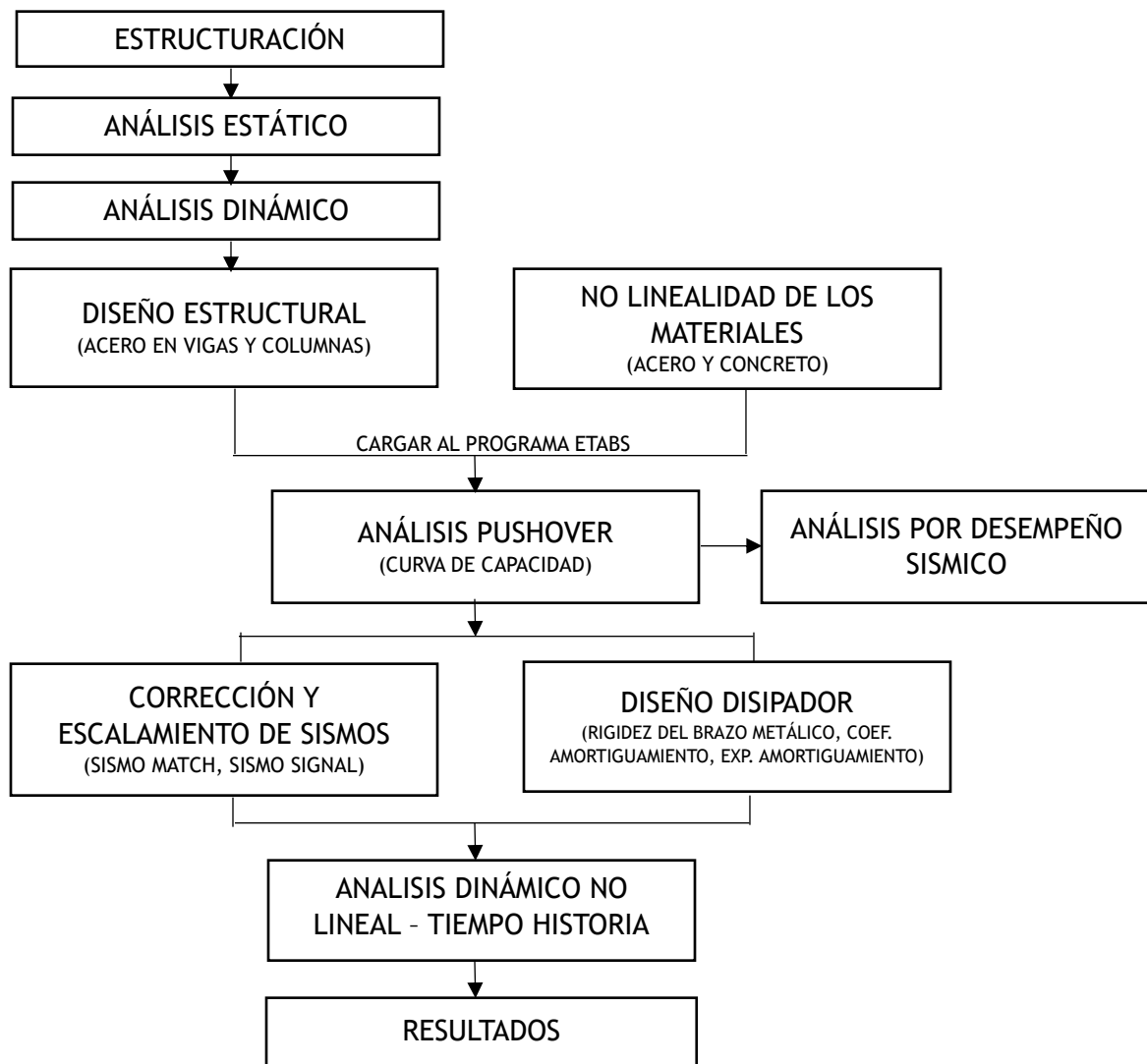


Figura 1: Diagrama de flujo. Fuente: elaboración propia

2.1. Diseño de estructura

2.1.1. Parámetros de diseño

En la Tabla 1, se muestra las características, propiedades y parámetros establecidos por la norma técnica peruana E.030 (NTP E.030) (Ministerio de Vivienda, 2018) para los modelos a analizar (5, 10 y 15 niveles), todos los modelos tienen la particularidad de ser de categoría común; además presentan la misma configuración de medidas en planta (15.0m x 11.50m) y de 14.40m, 28.4m y 42.40m de altura total respectivamente.

Tabla 1: Parámetros de diseño de los modelos.

DESCRIPCIÓN DE MODELOS						
DESCRIPCIÓN	M1 - M2		M3 - M4		M5 - M6	
Dimensiones en planta	15.0m x 11.50m		15.0m x 11.50m		15.0m x 11.50m	
Altura de pisos	3.20m (1 piso), 2.80m (típicos)		3.20m (1 piso), 2.80m (típicos)		3.20m (1 piso), 2.80m (típicos)	
Altura total	14.40m		28.40m		42.40m	
PROPIEDADES DE LOS MIEMBROS						
Dimensiones de vigas	25cm x 45cm		30cm x 45cm		35cm x 45cm	
Dimensiones de las columnas	35cm x 35cm		50cm x 50cm		50cm x 50cm	
Profundidad losa aligerada	20cm		20cm		20cm	
Tipo de disipador	-	FVD	-	FVD	-	FVD
CARGAS GENERALES						
Carga viva	200 kgf/m ²		200 kgf/m ²		200 kgf/m ²	
Carga muerta	340 kgf/m ²		340 kgf/m ²		340 kgf/m ²	
Concreto (f'c)	210 kgf/cm ²		210 kgf/cm ²		210 kgf/cm ²	
Acero (fy)	4200 kgf/cm ²		4200 kgf/cm ²		4200 kgf/cm ²	
E _{concreto}	217370.65 kgf/cm ²		217370.65 kgf/cm ²		217370.65 kgf/cm ²	
E _{acero}	2000000 kgf/cm ²		2000000 kgf/cm ²		2000000 kgf/cm ²	
PARÁMETROS SÍSMICAS						
Categoría de la edificación	C		C		C	
Factor de zona	0.45 (Zona IV)		0.45 (Zona IV)		0.45 (Zona IV)	
Tipo de suelo	S ₁		S ₁		S ₁	
Factor de importancia	1		1		1	
Coeficiente básico de reducción (R ₀)	8		8		8	
Irregularidad en planta (I _p)	0.9		0.9		0.9	
Coeficiente de reducción de la fuerza sísmica (R)	7.2		7.2		7.2	

Cada modelo es sometido a las mismas condiciones de cargas, parámetros que son indicados por la NTP E.020 para edificaciones de tipo común (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2020), el tipo de suelo considerado es S₁ con un factor de zona de nivel IV, mismo que se contempla para diseños en la costa peruana según normativa E.030.

2.1.2. Modelos de diseño

Se desarrollaron modelos estructurales con y sin disipadores utilizando el software de elementos finitos Etabs V.21, con la finalidad de ejecutar el análisis Tiempo Historia - no lineal para las edificaciones de concreto armado propuestas para esta investigación; mismos que fueron diseñados para analizar y comparar el desempeño estructural ante cargas dinámicas. En la tabla 2, se muestran la cantidad de modelos analizados, los cuales son codificados como: M1, M2, M3, M4, M5 y M6; además en la figura 1 se visualizan los modelos y sus elevaciones de acuerdo con las consideraciones ya establecidas de diseño.

Tabla 2. Descripción de los modelos desarrollados.

Modelo	Característica
M1	Pórtico de concreto armado de 5 niveles (sin disipador FVD)
M2	Pórtico de concreto armado de 5 niveles (con disipador FVD)
M3	Pórtico de concreto armado de 10 niveles (sin disipador FVD)
M4	Pórtico de concreto armado de 10 niveles (con disipador FVD)
M5	Pórtico de concreto armado de 15 niveles (sin disipador FVD)
M6	Pórtico de concreto armado de 15 niveles (con disipador FVD)

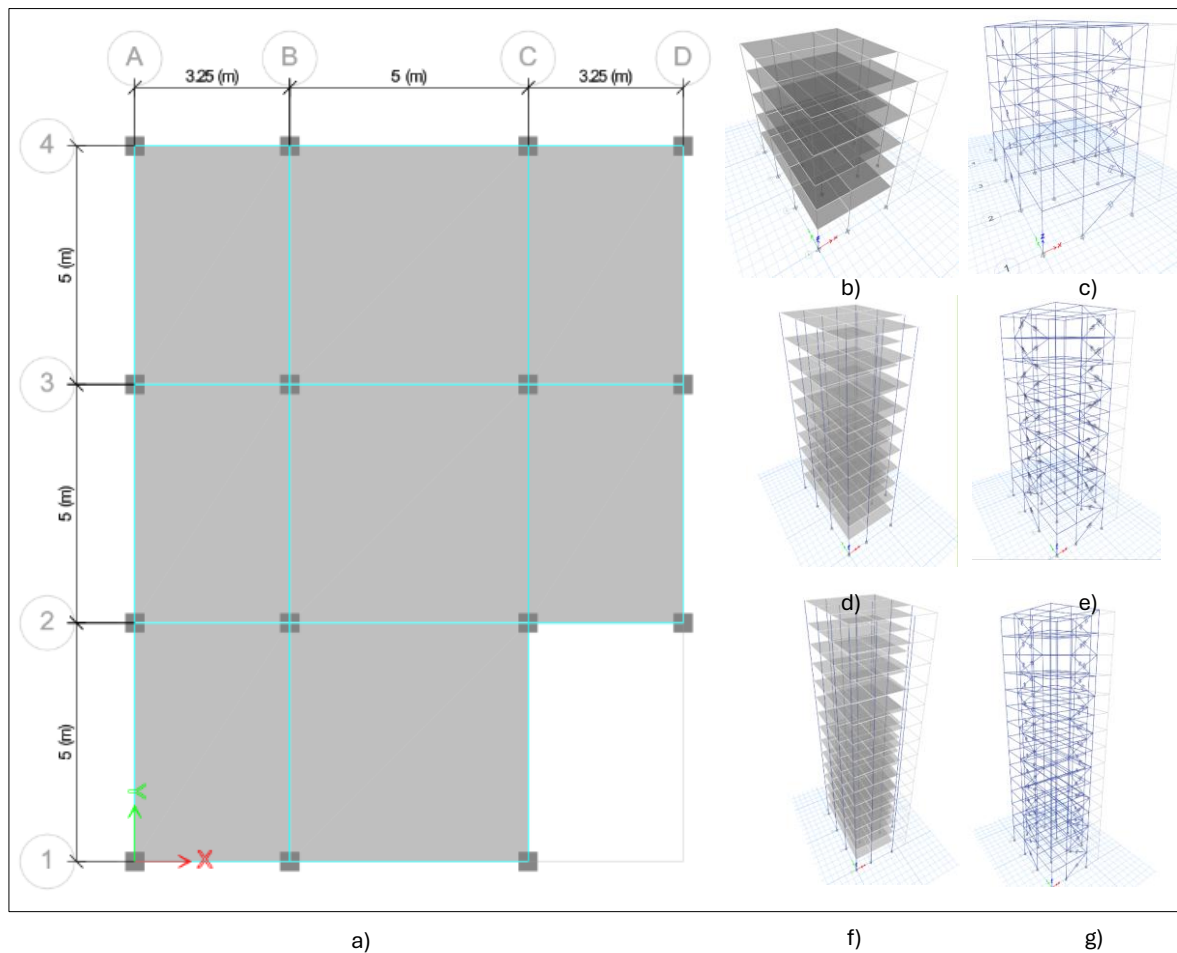


Figura 2. a) Planta para todos los modelos, b) elevación M1, c) elevación M2, d) Elevación M3, e) elevación M4, f) elevación M5, g) elevación M6. Fuente: elaboración propia

2.2.3. Espectro de diseño

Para el diseño de los espectros se aplicaron los parámetros establecidos en la NTP E.030, considerando las características y el tipo de estructura requerida. En el caso del diseño de los elementos estructurales, se utilizó el espectro de la normativa con un factor de reducción sísmica $R=7.2$, lo cual refleja el comportamiento inelástico y la capacidad de disipación de energía de la estructura. Por otro lado, para realizar el escalamiento de los sismos de diseño y garantizar una evaluación adecuada de la respuesta sísmica se ha empleado el espectro con $R=1$, mismo que corresponde al espectro elástico sin reducción. En la figura 2 se muestra el gráfico de espectro de pseudo aceleraciones con un $R=7.2$ y $R=1$.

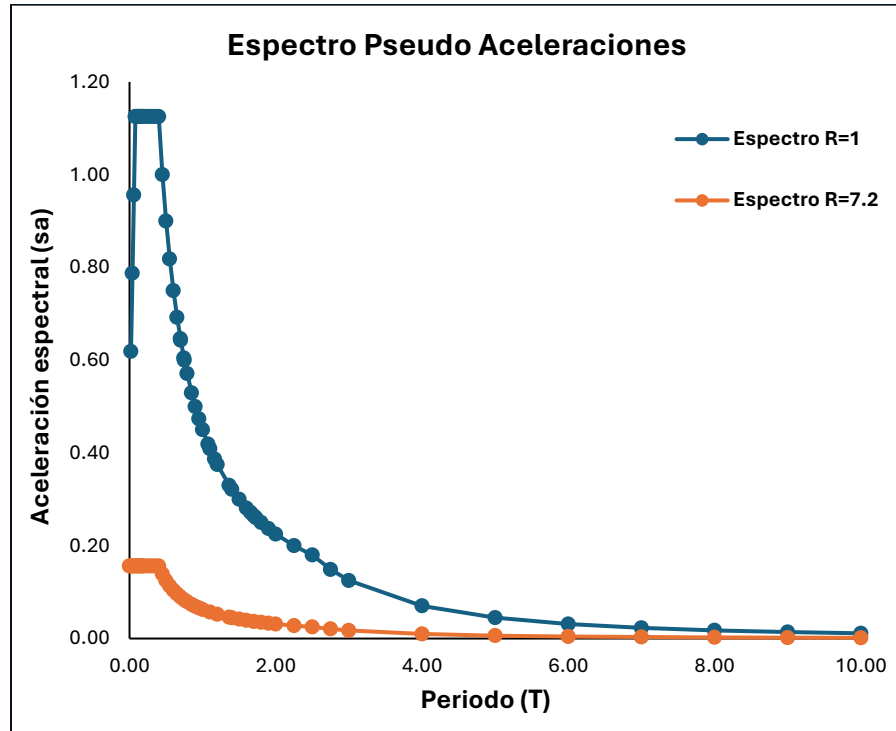


Figura 3. Gráfico de espectro de pseudo aceleraciones.

2.2. No linealidad de los materiales

2.2.1. Diagrama de no linealidad del acero

La no linealidad del acero se determinó acorde a la investigación desarrollada por (Rodríguez & Botero, 1995) en la que se realizó un análisis experimental sobre las propiedades mecánicas del acero, con la finalidad de definir la curva de esfuerzo - deformación del acero y facilitar hallar el valor de P en la zona de endurecimiento por deformación del acero; esto mismo se define mediante las siguientes ecuaciones (Mander et al., 1988):

$$f_s = f_{su} + (f_y - f_{su}) \left(\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_s}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right)^P \quad \text{--- (1)}$$

$$P = \frac{\log \left(\frac{f_{su} - f_{sh1}}{f_{su} - f_y} \right)}{\log \left(\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh1}}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right)} \quad \text{--- (2)}$$

En la figura 3, se muestra la definición de la no linealidad del acero mediante la curva de esfuerzo deformación graficado en el software Etabs V.21. Valores que son resultado del desarrollo de las ecuaciones 1 y 2.

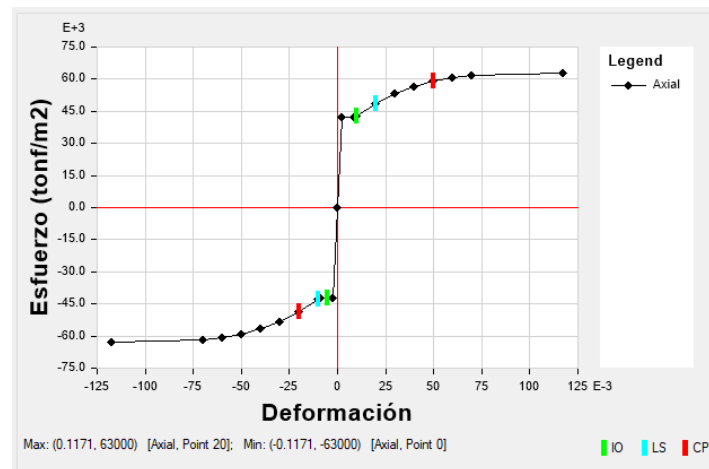


Figura 4. Gráfico que define la no linealidad del acero. Fuente: Etabs V.21

2.2.2. Diagrama de no linealidad del concreto

Para la no linealidad del concreto nos guiamos de las ecuaciones realizadas por (Hognesdad, 1951) en la que para un concreto de $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ se alcanza un valor de $\varepsilon_0 = 0.002$. Así mismo la deformación de ruptura se da cuando el esfuerzo es igual al $0.85f'c$ alcanzando un valor de $\varepsilon_u = 0.004$. Para determinar la totalidad de los puntos de la gráfica de esfuerzo - deformación del concreto se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$f(\varepsilon_c) = f'c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \text{ para } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_0 \quad \text{--- (3)}$$

$$f(\varepsilon_c) = f'c - \frac{0.15 * f'c (\varepsilon_c - \varepsilon_0)}{(\varepsilon_u - \varepsilon_0)} \text{ para } \varepsilon_0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_u \quad \text{--- (4)}$$

En la figura 4, se observa la definición no lineal de la totalidad de los puntos de esfuerzo - deformación del concreto graficados en el software Etabs V.21.

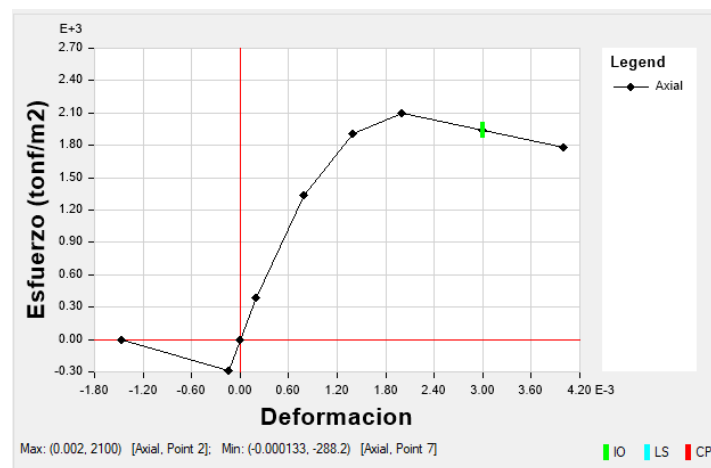


Figura 5. Gráfico que define la no linealidad del concreto. Fuente: Etabs V.21

2.3. Definición de rótulas plásticas

Se definió las rótulas plásticas para los elementos estructurales de los modelos. Para las vigas se utilizó la tabla 10-7 (Modeling parameters and numerical acceptance criteria for nonlinear procedures - reinforced concrete beams). Para las columnas se utilizaron las tablas 10-8 (Modeling parameters and numerical acceptance criteria for nonlinear procedures - reinforced concrete columns other than with spiral reinforcement or seismic hoops as defined in ACI 318) y 10-9 (Modeling parameters and numerical acceptance criteria for nonlinear procedures - reinforced concrete circular columns with reinforcement or seismic hoops as defined in ACI 318) mismas que son de la normativa (American Society of Civil Engineers, 2017).

2.4. Análisis por desempeño

2.4.1. Curva de capacidad y nivel de desempeño

La curva de capacidad es la relación entre la cortante en la base vs el desplazamiento en el techo, esta se determina mediante un análisis pushover. Método que permite realizar análisis no lineales mucho más simples con el objetivo de estimar el comportamiento de una estructura ante la ocurrencia de algún evento sísmico (Muñoz et al., 2006). Para los modelos se ha determinado la curva de capacidad de acuerdo con el primer modo fundamental de vibración; además, el (SEAOC, 2000) ha establecido límites de desempeño de las estructuras, mismos que sectorizan el tramo inelástico de la curva de capacidad en: funcional, seguridad de vida, pre-colapso y colapso como se muestra en la figura 5. Para determinar el punto de desempeño de los modelos se define el punto de fluencia efectiva (modelo bilineal) con el (American Society of Civil Engineers, 2012), el punto final de la bilineal será el punto de desempeño de la estructura.

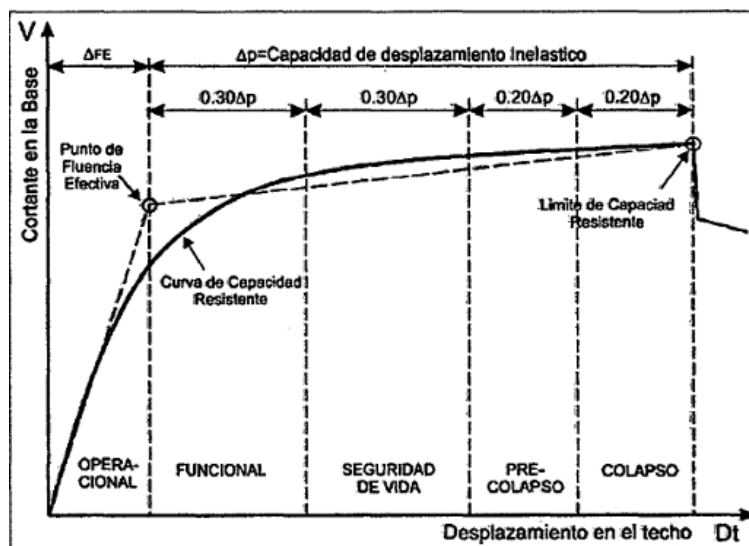


Figura 6. Sectorización de la curva de capacidad para determinar el nivel de desempeño. Fuente: SEAOC, 2000

2.5. Análisis tiempo historia no lineal

2.5.1. Tratamiento de registros sísmicos

Se obtuvieron tres (03) registros sísmicos de la estación parque de la reserva - Lima, mismos que pertenecen a los terremotos descritos en la tabla 3 encontrados en el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID, 1986) , siendo estos los

que tuvieron mayor magnitud de momento en el litoral peruano. Estos registros se corrigieron por el método de línea base en el software SeismoSignal (SEISMOSOFT, 2002) , luego se escalaron a un espectro R=1 en el software SeismoMatch (Figuras 6 y 7) (SEISMOSOFT, 2002).

Tabla 3. Descripción de los registros sísmicos representativos del Perú.

Terremoto	Estación	Escala
Lima y Callao, 1966	Parque de la reserva - Lima	Mw = 8.1
Ancash, 1970	Parque de la reserva - Lima	Mw = 7.9
Lima, 1974	Parque de la reserva - Lima	Mw = 7.7

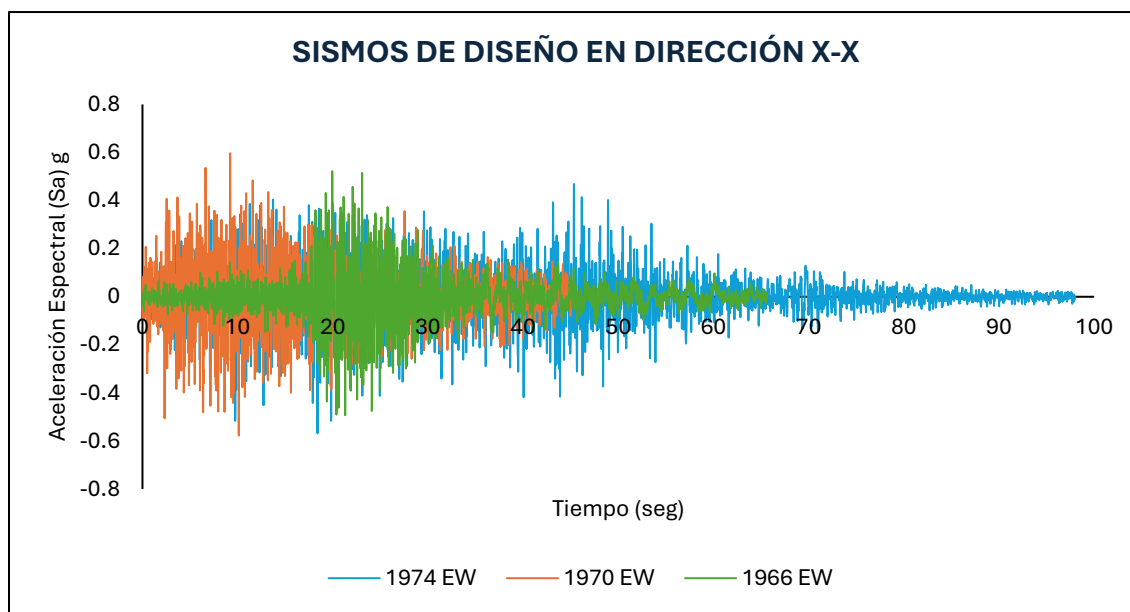


Figura 7. Sismos de diseño en la dirección X-X. Fuente: SeismoMatch

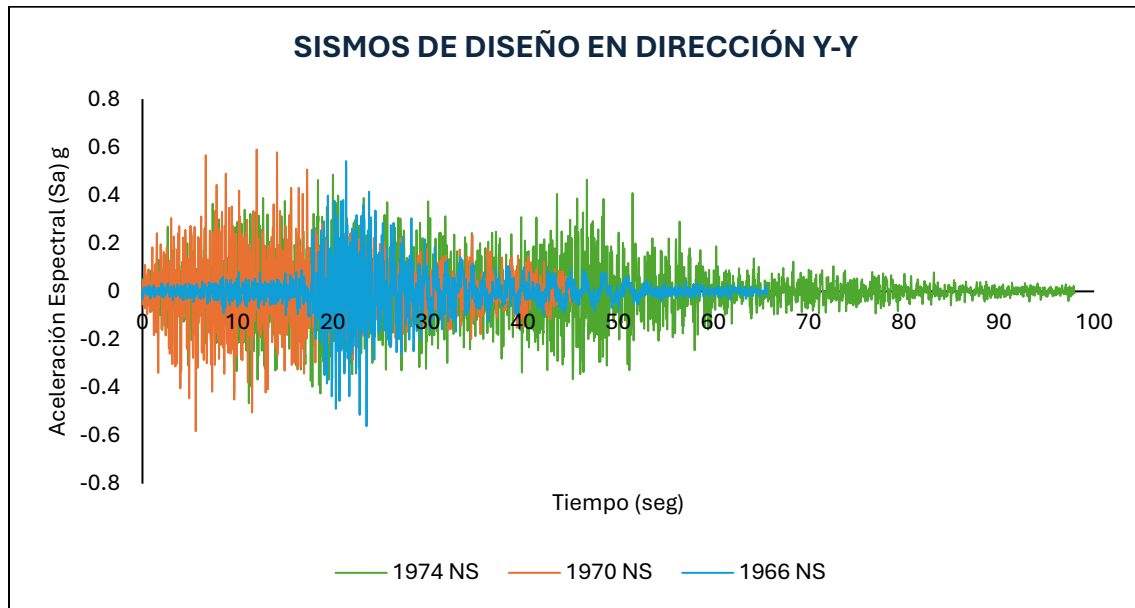


Figura 8. Sismos de diseño en la dirección Y-Y. Fuente: Seismo Match.

3. Diseño del disipador

Para el diseño de los disipadores se consideraron los parámetros descritos en la tabla 4. En cuanto al tipo de arreglo, se tomó como referencia las investigaciones realizadas por (Marzban & Esmaeiltabar, 2021; Riaz et al., 2023; Singh & Kumar Tiwary, 2022) las cuales emplean disipadores en formato “diagonal”. La ubicación se ha considerado en base a lo investigado por (Allami Mehmandousti & Jalaeefer, 2023; Moradpour & Dehestani, 2019; Scozzese et al., 2021; Zhou et al., 2022) las cuales muestran la ubicación en las luces centrales para los ejes X e Y. La determinación de la deriva objetivo para un nivel de diseño sísmico moderado es $D_{obj} = 0.0043$ de acuerdo con el manual Hazus (Federal Emergency Management Agency, 2008). La rigidez del brazo metálico se ha determinado para un perfil de acero HSS 7.5x0.188 con un área de 4 in². Finalmente, el exponente de amortiguamiento (α) tiene un valor de 0.5 de acuerdo con las investigaciones (Chukka & Krishnamurthy, 2019; Kalamkar et al., 2019; Xu et al., 2022).

$$F = C * V^{\alpha} \text{ --- (5)}$$

Tabla 4. Parámetros de diseño de los disipadores para los modelos desarrollados.

DESCRIPCIÓN	M2		M4		M6	
DIRECCIÓN	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y
Tipo de arreglo	diagonal		diagonal		diagonal	
Ubicación	Eje 1-1 (B-C) Eje 4-4 (B-C)	Eje A-A(2-3) Eje D-D(2-3)	Eje 1-1 (B-C) Eje 4-4 (B-C)	Eje A-A(2-3) Eje D-D(2-3)	Eje 1-1 (B-C) Eje 4-4 (B-C)	Eje A-A(2-3) Eje D-D(2-3)
Sismo de diseño (estación)	Lima 1970EW	Lima 1974NS	Lima 1966EW	Lima 1974NS	Lima 1970EW	Lima 1970NS

Deriva máxima de sismo diseño	0.009616	0.010196	0.008953	0.010192	0.00921	0.009145
Deriva objetivo	0.0043	0.0043	0.0043	0.0043	0.0043	0.0043
Coef. Amortiguamiento (C)	63.379 T.s/m	100.00 T.s/m	122.540 T.s/m	152.400 T.s/m	236.764 T.s/m	209.819 T.s/m
Rigidez del brazo metálico	10655.558 T/m	10655.558 * T/m	10655.558 T/m	10655.558 T/m	10655.558 T/m	10655.558 T/m
Exponente de amortiguamiento (α)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

*Esta rigidez del brazo metálico es considerada para todos los pisos, excepto el piso 2, que tiene un perfil de acero HSS 7.5X0.5 con un área 10.3 in² cuya rigidez es de 27438.061 T/m

4. Resultados

4.1. Derivas

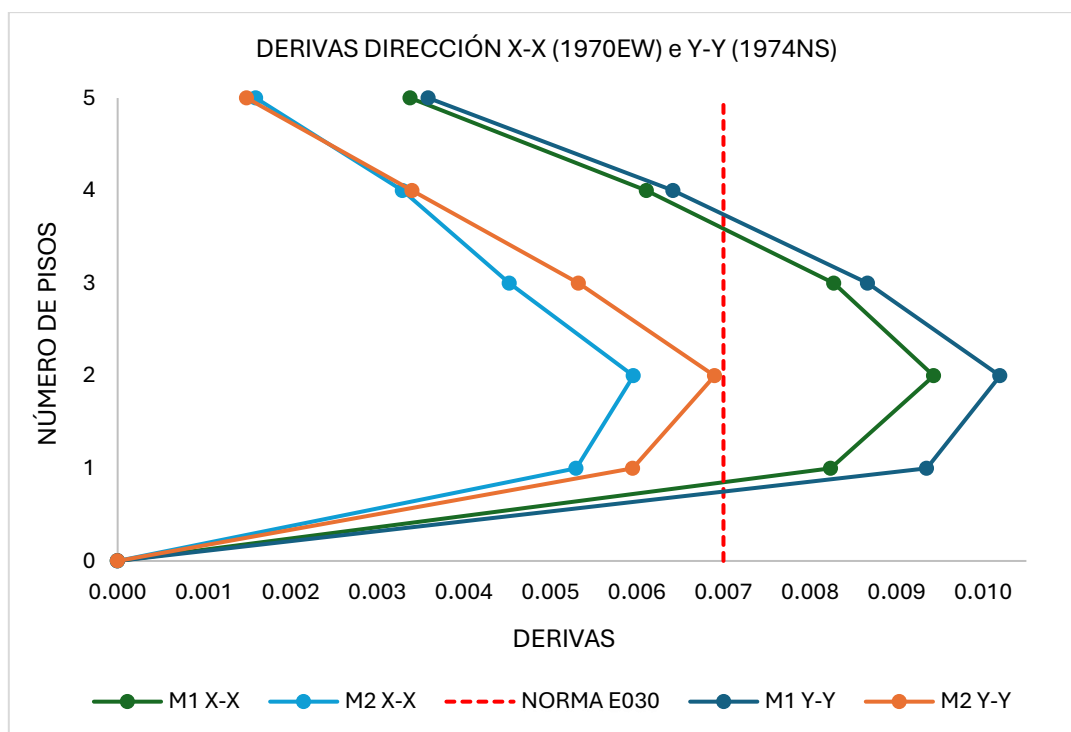


Figura 9. Reducción de derivas para modelos de 5 pisos en direcciones X-X e Y-Y. Fuente: elaboración propia.

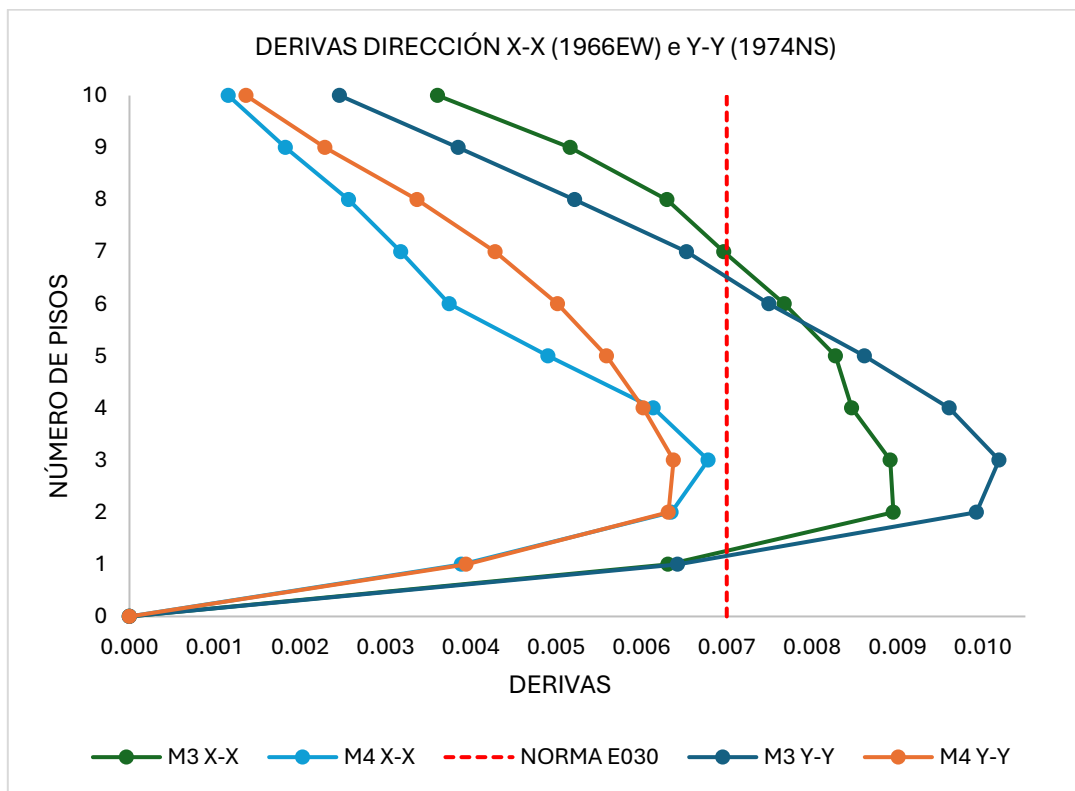


Figura 10. Reducción de derivas para modelos de 10 pisos en direcciones X-X e Y-Y. Fuente: elaboración propia.

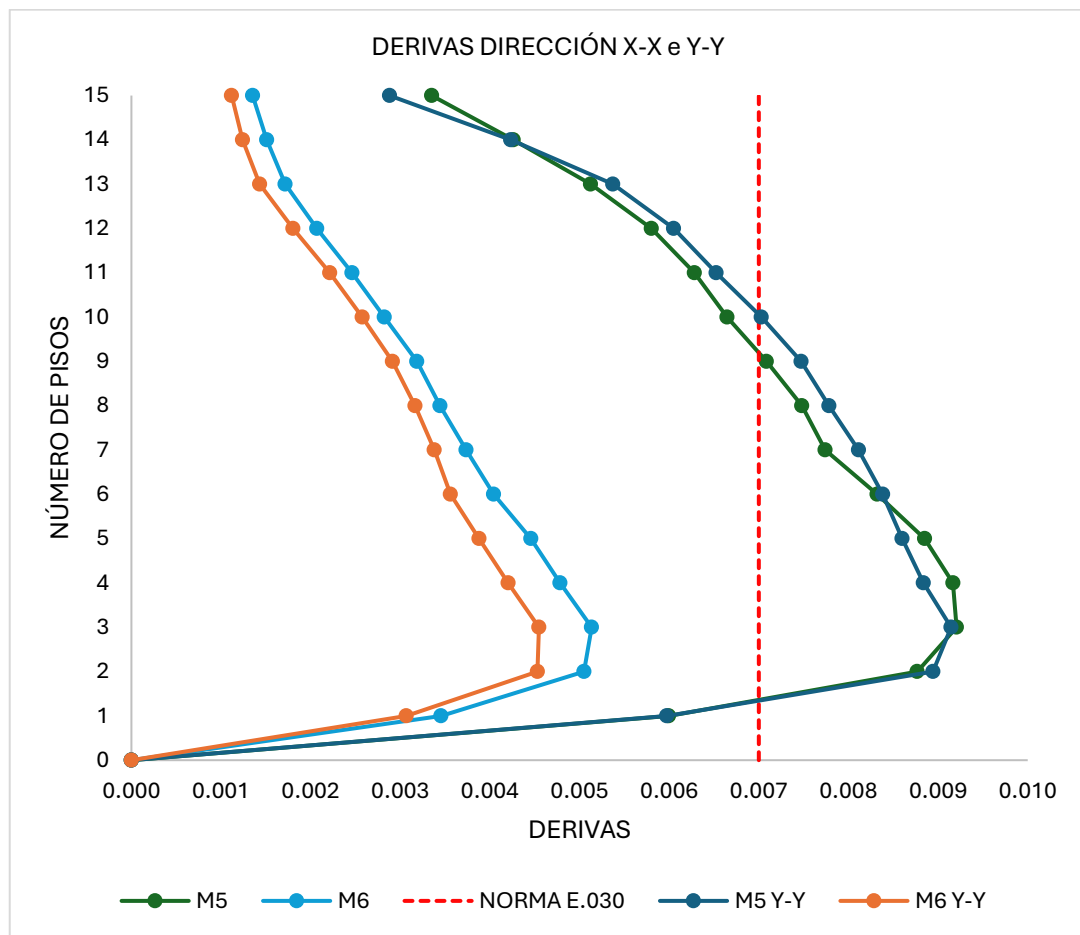


Figura 11. Reducción de derivas para modelos de 15 pisos en direcciones X-X e Y-Y. Fuente: elaboración propia.

En los gráficos 8, 9 y 10 se observan la relación entre el número de pisos de las estructuras de 5-10-15 niveles y las derivas de entrepiso obtenidas tras un análisis no lineal tiempo-historia, considerando los sismos de diseño correspondientes a las direcciones X-X (1970EW) y Y-Y (1974NS) para la estructura de 5 pisos, X-X (1966EW) y Y-Y (1974NS) para la de 10 pisos y X-X (1970EW) y Y-Y (1970NS) correspondiente a la estructura de 15 pisos. Los resultados muestran que los modelos sin disipadores (M1 X-X, M1 Y-Y, M3 X-X, M3 Y-Y, M5 X-X y M5 Y-Y) exceden el límite de derivas de entrepiso estipulado por la norma NTP E.030 para estructuras de concreto armado, cuyo valor máximo permitido es 0.007. En contraste, los modelos equipados con FVD (M2 X-X, M2 Y-Y, M4 X-X, M4 Y-Y, M6 X-X y M6 Y-Y) presentan una notable reducción de las derivas máximas en ambos sentidos. Específicamente, se registra una disminución del 36.80%, 24.24% y 44.22% en la dirección X-X, mientras que del 32.35%, 37.43% y 50.28% en la dirección Y-Y respectivamente, en comparación con los modelos sin disipadores.

4.2. Nivel de desempeño

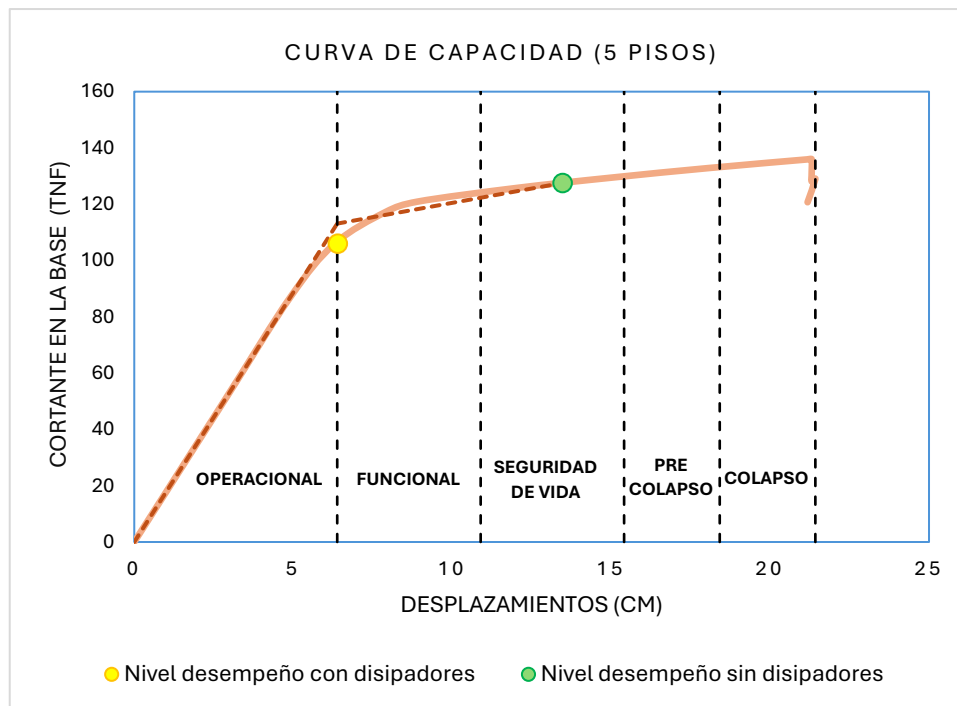


Figura 12. Curva de capacidad y nivel de desempeño para modelos de 5 pisos. Fuente: elaboración

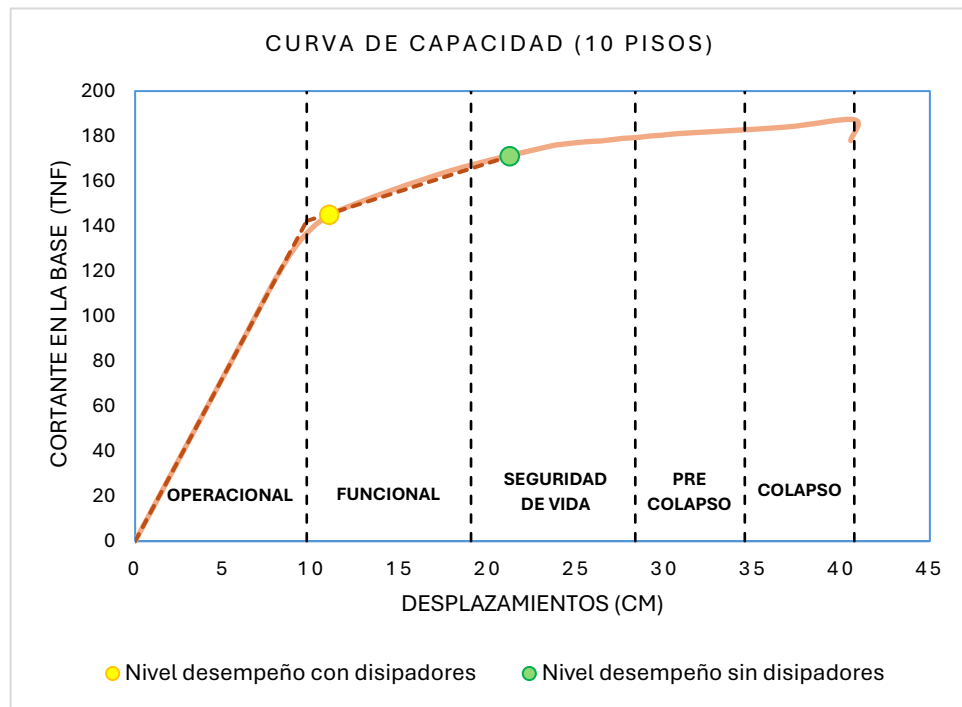


Figura 13. Curva de capacidad y nivel de desempeño para modelos de 10 pisos. Fuente: elaboración propia.

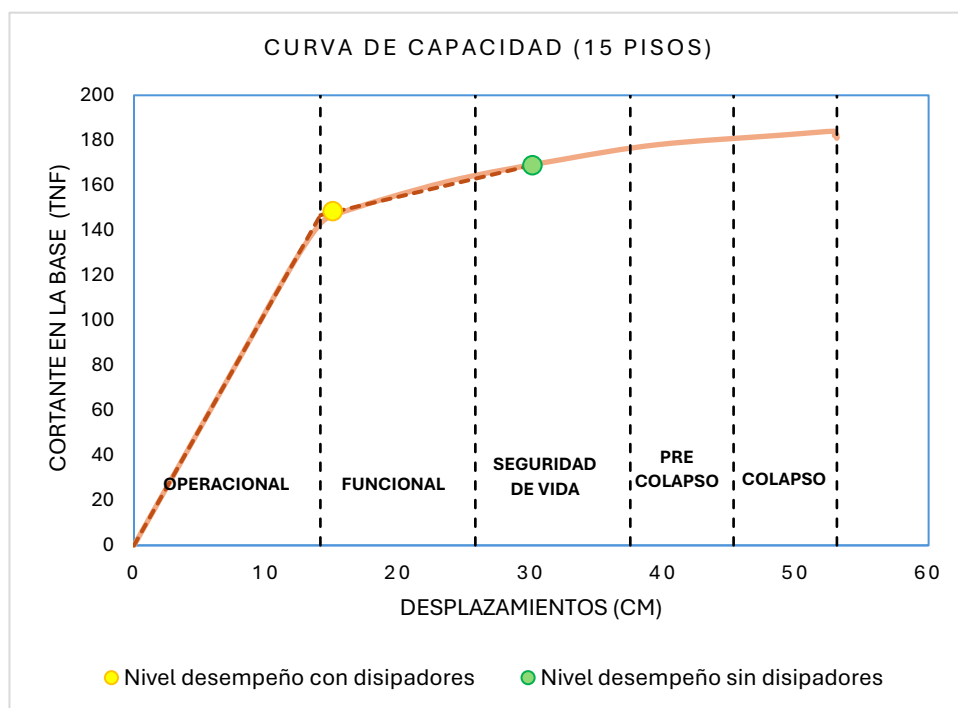


Figura 14. Curva de capacidad y nivel de desempeño para modelos de 15 pisos. Fuente: elaboración propia.

Según (SEAOC, 2000) el diseño basado en Desempeño establece la relación entre el Nivel de Sismo de Diseño y el Nivel de Comportamiento Sísmico Esperado. Para esta investigación se consideró un nivel de Sismo Raro, con un periodo de retorno de 475 años. En consecuencia, el nivel de comportamiento Sísmico Esperado para las estructuras analizadas debe cumplir, como mínimo, con el criterio de Seguridad de Vida. Tal como se muestra en las gráficas 11, 12 y 13 todas las estructuras modeladas cumplen con el requisito mínimo, incluso en su configuración sin disipadores. No obstante, al incorporar FVD, se observa una mejora significativa en el desempeño sísmico. Con estos elementos, las estructuras alcanzan un nivel de comportamiento completamente funcional, lo que significa que pueden continuar operativas para sus funciones principales inmediatamente después de un evento sísmico. Además, los daños estructurales que pudieran presentarse son mínimos, lo que facilita reparaciones rápidas y económicas, asegurando tanto la integridad de la estructura como la seguridad y confort de los ocupantes.

3.3. Ductilidad

Tabla 5. Reducción de la ductilidad para cada modelo desarrollado.

REDUCCIÓN DE DUCTILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Desplazamiento (Bilineal)	6.3848 cm		9.7182cm		14.075cm	
Desplazamiento último (Sin disipadores)	13.4737cm	-	21.2179cm	-	30.0806cm	-

Desplazamiento o último (Con disipadores)	-	6.4000c m	-	11.0000c m	-	15.0000c m
%Reducción de ductilidad	52.50%		48.16%		50.13%	

De las gráficas 11, 12 y 13, se detalla en la tabla 5 la comparación que evidencia la reducción de la ductilidad en los modelos con FVD: M2, M4 y M6, en relación con los modelos sin FVD: M1, M3 y M5. Esta disminución se atribuye a la capacidad de los FVD para absorber una parte significativa de la energía sísmica, lo que limita las demandas de deformación en los elementos estructurales principales. En el modelo de 5 pisos, la ductilidad se reduce en un 52.50%; en el modelo de 10 pisos, la reducción alcanza el 48.16%, mientras que, en el modelo de 15 pisos, la disminución es del 50.13% al comparar las estructuras con FVD frente a aquellas sin estos dispositivos.

3.4. Balance de energía

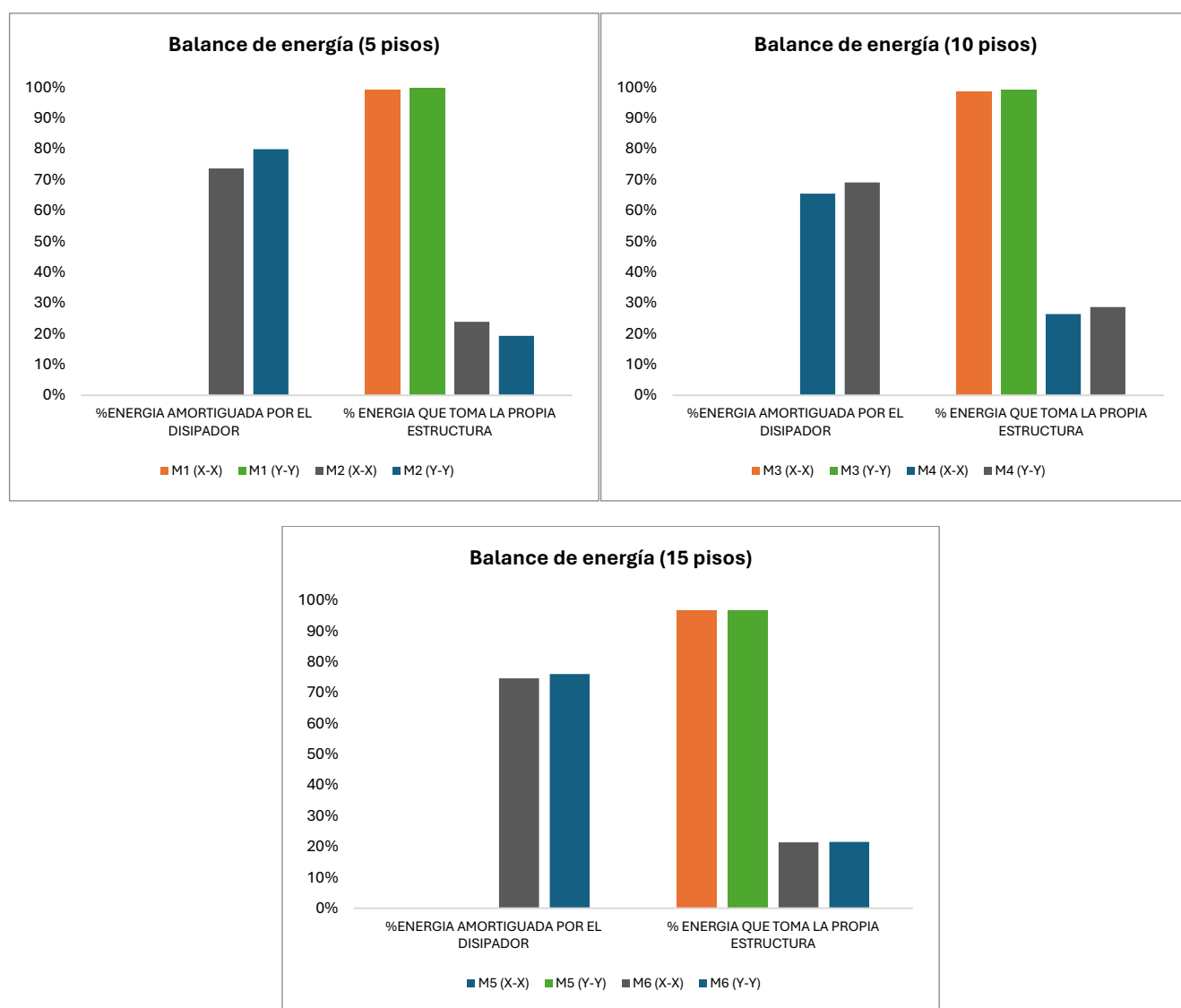


Figura 15. Gráficos de equilibrio energético para los modelos de 5, 10 y 15 pisos en las direcciones de análisis X-X e Y-Y. Fuente: elaboración propia.

En la figura 14 se observa el equilibrio energético de los modelos estudiados, destacando la cantidad de energía absorbida por los FVD, verificando de esta manera la funcionalidad y trabajabilidad de estos dispositivos al ser incorporados a los elementos estructurales de las edificaciones. Al comparar los 3 modelos a los que se incorporaron los FVD: M2, M4, M6, el modelo de 5 pisos (M2) mostró el mayor porcentaje de energía amortiguada por parte de los FVD en ambas direcciones de análisis (X-X y Y-Y), siendo este un porcentaje de 79.90% para el sismo de Lima-1974NS. En segundo lugar, el modelo de 15 pisos (M6) registró un porcentaje de 76.05% de energía amortiguada para el sismo de Lima-1970NS. Finalmente, el modelo de 10 pisos (M4) presentó una amortiguación de 69.09% de energía para el sismo de Lima-1970NS.

3.5. Histéresis

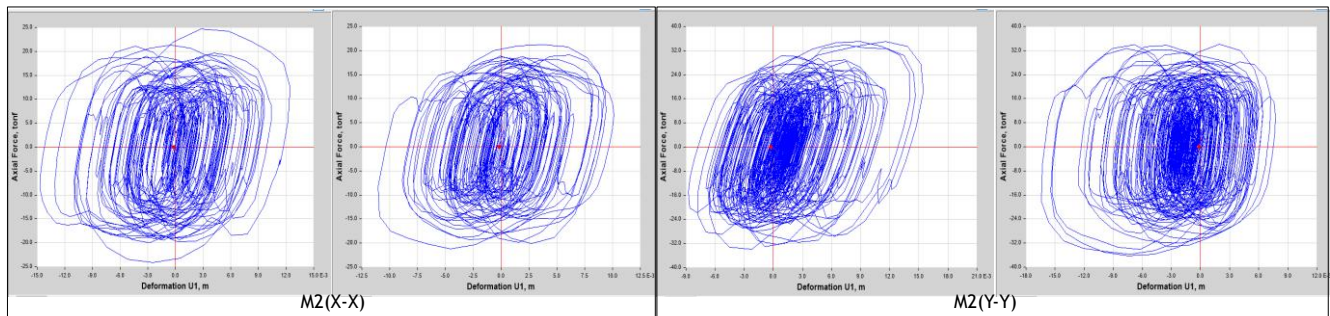


Figura 16. Histéresis representativas para modelo de 5 pisos en las direcciones de análisis.

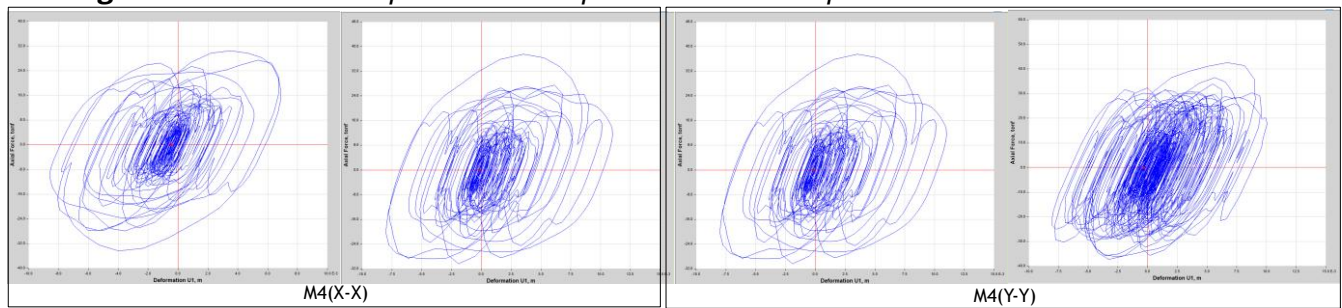


Figura 17. Histéresis representativas para modelo de 10 pisos en las direcciones de análisis.

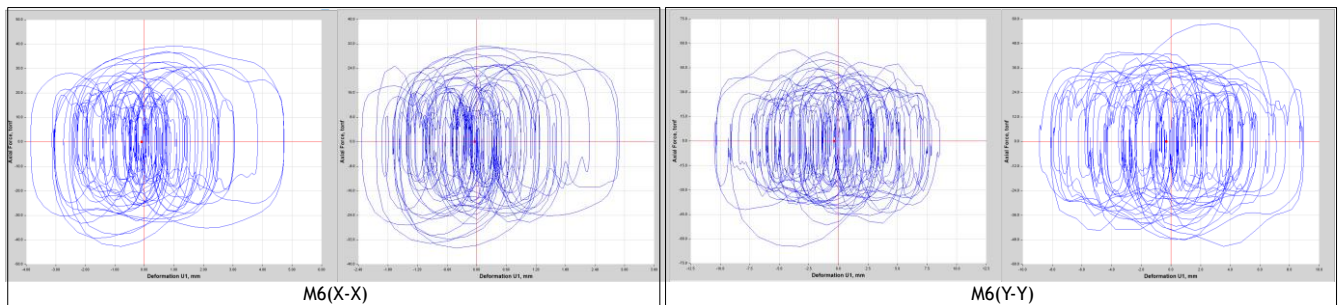


Figura 18. Histéresis representativas para modelo de 15 pisos en las direcciones de análisis.

Las figuras 15, 16 y 17 muestran las histéresis más representativas, estas presentan el comportamiento de los disipadores en los modelos. Para el M2, las histéresis (Fuerza axial vs deformación) presentan bucles cerrados debido a las cargas y descargas repetitivas, la deformación varía 11mm - 12 mm (X-X), 8mm - 16 mm (Y-Y); una fuerza axial de 21 Tnf - 25 Tnf (X-X), 33Tnf - 36Tnf (Y-Y). Para el M4, las histéresis se amplifican más debido a que los FVD disipan mayor energía, de esta manera logran deformaciones máximas de 7mm - 11mm (X-X), 10mm (Y-Y), una fuerza axial de 29Tnf - 38Tnf (X-X) y 43Tnf - 45Tnf (Y-Y). Finalmente,

para el M6, las histéresis tienen un comportamiento con bucles bastante abiertos, esto debido a que los disipadores trabajan de mejor manera, teniendo estas deformaciones máximas que oscilan entre 3mm - 5mm (X-X), 8mm - 9mm (Y-Y), además presentan una fuerza axial máxima que varía de 32Tnf - 40Tnf (X-X) y 57Tnf - 59Tnf (Y-Y).

3.6. Cortante en la base

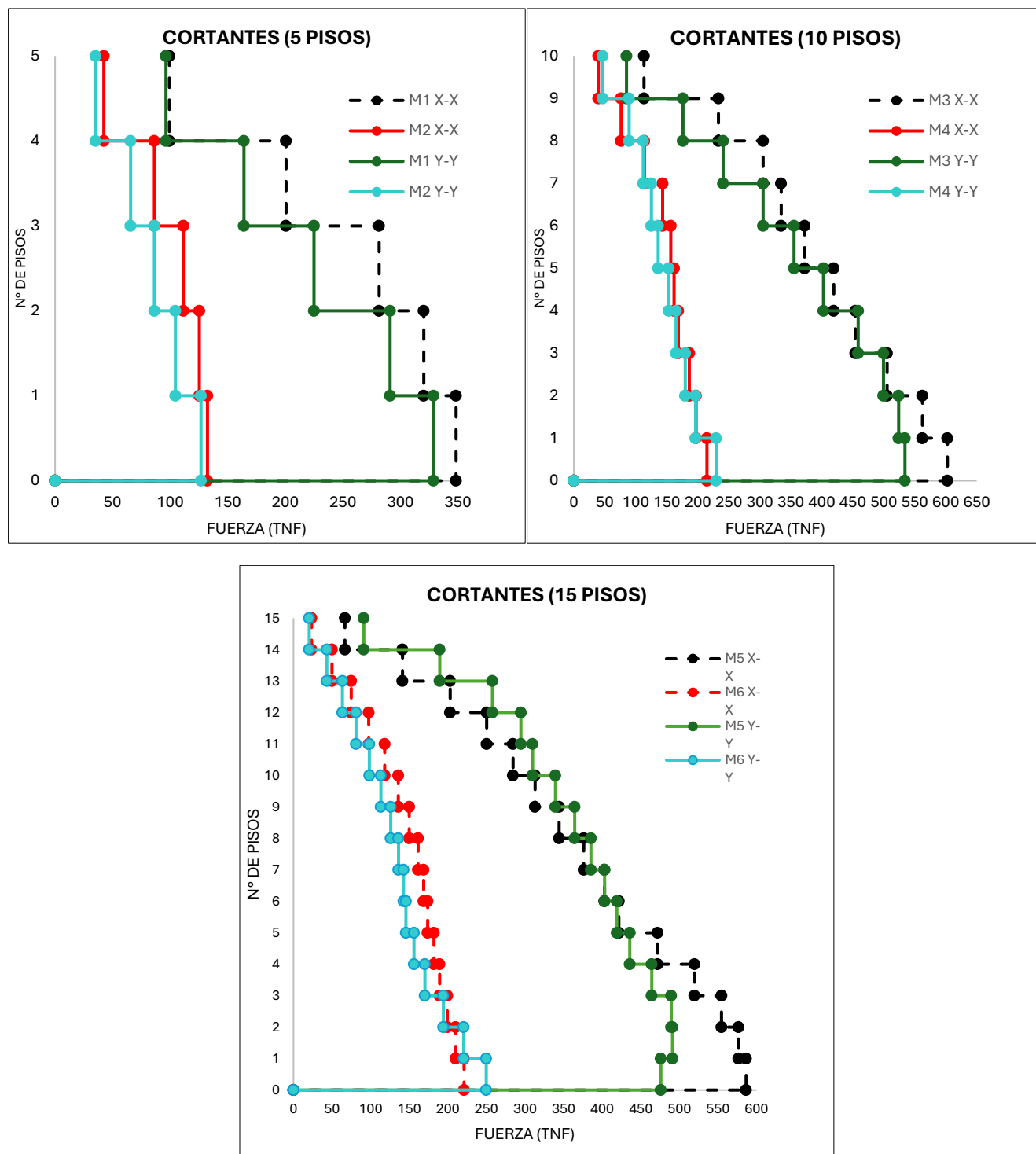


Figura 19. Reducción de cortantes en los pisos para los modelos de 5, 10 y 15 pisos en las direcciones de análisis. Fuente: elaboración propia.

La figura 18 presenta la reducción de las cortantes en todos los pisos para los modelos analizados. Para el M1, las cortantes máximas del piso base es de 348.384Tnf (X-X) y 328.733 Tnf (Y-Y), en cambio para el M2 tienen un valor de 132.3381Tnf (X-X) y 126.727Tnf (Y-Y), logrando de esta manera reducir un total de 37.99% (X-X) y 38.55% (Y-Y). El modelo M3 tiene cortantes máximas en base de 602.676Tnf (X-X) y 534.189Tnf (Y-Y), pero el M4 presenta sus máximas cortantes en base con valores de 214.7056Tnf (X-X) y 229.4965Tnf (Y-Y), esto hace que su reducción sea del 35.63% (X-X) y 42.96% (Y-Y). Finalmente, para el M5 las cortantes máximas en base alcanzan valores de 586.4825Tnf (X-X) y 475.936Tnf (Y-Y), en contraste, las cortantes máximas en la base para el M6 son de 221.017Tnf (X-X) y 249.7724 Tnf (Y-Y), esto representa una reducción porcentual del 37.69% (X-X) y 52.48% (Y-Y).

5. Conclusiones

La incorporación de los FVD en los modelos estructurales ha permitido reducir las derivas hasta cumplir con los límites establecidos por la NTP E.030. Este logro se evidencia en los modelos de 5, 10 y 15 niveles analizados en las direcciones X-X e Y-Y, alcanzando reducciones máximas del 36.80% en el M2, 37.43% en el M4 y 50.28% en el M6. Al comparar estos resultados con estudios previos como los de (Javaid & Verma, 2023; Riaz et al., 2023) se observa una coherencia en las mejoras alcanzadas. Según Riaz et al., se logró una reducción del 31.16% en un modelo de 9 niveles, mientras que Javaid & Verma, reportó reducciones del 35% al 40% para su modelo de 15 niveles. Esto demuestra que la implementación de los dispositivos es efectiva para disminuir significativamente las derivas en estructuras sometidas a cargas sísmicas.

Todos los modelos incorporados con disipadores FVD han mejorado su desempeño, para los modelos M2, M4 y M6 el punto de desempeño ha mejorado hasta un nivel “funcional”, (Federal Emergency Management Agency, 2000) menciona que una estructura que está sometida a un sismo de carácter raro (sismo que todas las normativas manejan para el análisis de las estructuras) debería tener un nivel de desempeño de “seguridad de vida”, pero al mejorar nuestra estructura con estos dispositivos se ha logrado mejor nivel de desempeño, esto demuestra la efectividad de estos dispositivos desde la perspectiva de análisis por desempeño.

La disipación de energía por parte de los FVD en los modelos analizados fue de 79.9% en el M2, 69.09% en el M4 y 76.05% en el M6, estos resultados son consistentes con los obtenidos por (Riaz et al., 2023) que en su modelo con FVD lograron disipar hasta un 73.823% de energía respecto a su modelo sin disipadores; reducir al máximo la energía generada por las fuerzas sísmicas mejora significativamente el comportamiento estructural de las edificaciones y minimiza los daños.

Finalmente, la reducción de las cortantes en los modelos desarrollados ha sido de valores máximos como 38.55% (M2), 42.96% (M4) y 52.48% (M6), comparando esto con lo desarrollado por (Marzban & Esmaeiltabar, 2021) cuya reducción en su modelo de 10 niveles logro alcanzar un porcentaje de 62% demuestra que la incorporación de FVD en pórticos de concreto armado y en disposición diagonal ayuda a mejorar la reducción de las cortantes en las base; es necesario mencionar que, este parámetro de diseño y los analizados anteriormente ayudan a mejorar el desempeño sísmico de las estructuras, la eficiencia en el diseño, durabilidad de la edificación, protección de elementos fundamentales y reducir el control de daños en las estructuras.

6. Referencias

- Allami Mehmandousti, A. M., & Jalaeefar, A. (2023). Effect of seismic sequences on behavior of mid-rise steel moment-resisting frames equipped with fluid viscous dampers. *Structures*, 54, 657–668. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.05.108>
- American Society of Civil Engineers. (2012). *ASCE 41-13: Seismic Evaluation and Retrofit Rehabilitation of Existing Buildings*.
- American Society of Civil Engineers. (2017). *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings: ASCE/SEI, 41-17*. American Society of Civil Engineers.
- Chukka, N. D. K. R., & Krishnamurthy, M. (2019). Comparison of X-shaped metallic dampers with fluid viscous dampers and influence of their placement on seismic response of the building. *Asian Journal of Civil Engineering*, 20(6), 869–882. <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00151-z>
- Faruk, Md. O., Singh, S. K., & Mondal, S. (2023). Comparative study of buckling restrained braces and fluid viscous damper applied in an RCC structure following pushover analysis. *Materials Today: Proceedings*, IX, 7. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.471>
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*.
- Federal Emergency Management Agency. (2008). Hazus 99 - Estimated Annualized Earthquake Losses for the United States. In Claire Drury (Ed.), *Fema*. FEMA. <https://nehrpsearch.nist.gov/static/files/FEMA/PB2008108263.pdf>
- Hognesdad, E. (1951). A STUDY OF COMBINED BENDING AND AXIAL LOAD IN REINFORCED CONCRETE MEMBERS. *UNIVERSITY OF ILLINOIS*, 49(22).
- Javaid, K., & Verma, N. (2023). Seismic performance of irregular composite buildings: A comparative study of the effectiveness of buckling restrained braces and viscous dampers. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.033>
- Kalamkar, P. J., Wani, S. S., & Jadhao, P. D. (2019). *Assessment of Multi-storied RC Framed Structure Using Passively Damped Viscous Dampers*. Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6148-7_50
- Mander, J. B., Priestley, M. J. N., & Park, R. (1988). *THEORETICAL STRESS-STRAIN MODEL FOR CONFINED CONCRETE*.
- Marzban, N., & Esmaeiltabar, P. (2021). Investigating the Effect of Viscous Yield Dampers on Concrete Structure Performance. *Shock and Vibration*, V, 6. <https://doi.org/10.1155/2021/8489333>
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2018). Norma E.030 Diseño Sismorresistente. In *El Peruano* (Servicio N). [https://museos.cultura.pe/sites/default/files/item/archivo/Norma técnica E.030 Diseño sismorresistente.pdf](https://museos.cultura.pe/sites/default/files/item/archivo/Norma_técnica_E.030_Diseño_sismorresistente.pdf)

- Moradpour, S., & Dehestani, M. (2019). Optimal DDBD procedure for designing steel structures with nonlinear fluid viscous dampers. *Structures*, 22, 154–174.
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.08.005>
- Muñoz, E., Ruiz, D., Prieto, J., Ramos, A., & Pontificia, *. (2006). *Estimación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación indispensable mediante confiabilidad estructural Estimate of the seismic vulnerability of an indispensable construction by means of reliability analysis*.
www.ing.puc.cl/ric
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2020). *NORMA E.020 CARGAS*. www.gob.pe/sencico.
- Riaz, R. D., Malik, U. J., Shah, M. U., Usman, M., & Najam, F. A. (2023). Enhancing Seismic Resilience of Existing Reinforced Concrete Building Using Non-Linear Viscous Dampers: A Comparative Study. *Actuators*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/act12040175>
- Rodríguez, M., & Botero, J. (1995). Comportamiento sísmico de estructuras considerando propiedades mecánicas de aceros de refuerzo mexicanos. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 49, 39–50. <https://doi.org/10.18867/ris.49.268>
- Scozzese, F., Gioiella, L., Dall'Asta, A., Ragni, L., & Tubaldi, E. (2021). Influence of viscous dampers ultimate capacity on the seismic reliability of building structures. *Structural Safety*, 91(September 2020), 102096. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2021.102096>
- SEAOC. (2000). *PERFORMANCE BASED SEISMIC ASSESSMENT OF BUILDINGS FOR EVALUATION OF RETROFITTING SYSTEMS EFFICIENCY: VISION 2000*. <http://cemsig.ct.upt.ro/cemsig/>
- Singh, H., & Kumar Tiwary, A. (2022). Dynamic analysis of RCC framed structure considering effect of viscous dampers and base isolation. *Materials Today: Proceedings*, V(I), 6.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.086>
- Xu, W., Wang, Y., Guo, H., Du, D., & Wang, S. (2022). Theoretical and experimental investigation on the seismic performance of a novel variable-damping viscous fluid damper. *Journal of Building Engineering*, 53(March), 104537. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104537>
- Zhou, Y., Sebaq, M. S., & Xiao, Y. (2022). Energy dissipation demand and distribution for multi-story buildings with fluid viscous dampers. *Engineering Structures*, 253(July 2021), 113813.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113813>