



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2024,
Volumen 8, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4

ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO UTILIZANDO DISIPADORES SÍSMICOS TIPO FVD Y SLB EN ESTRUCTURAS METÁLICAS REGULARES

**COMPARATIVE TECHNICAL ANALYSIS USING FVD
AND SLB TYPE SEISMIC DISSIPATORS ON REGULAR
STEEL STRUCTURES**

Freddy Gustavo Cuchiparte Pastuña
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

David Patricio Guerrero Cuasapaz
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

Jaime Eduardo Fernández Ñacato
Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13339

Análisis Técnico Comparativo Utilizando Disipadores Sísmicos Tipo FVD y SLB en Estructuras Metálicas Regulares

Freddy Gustavo Cuchiparte Pastuña¹fcuchipartep@est.ups.edu.ec<https://orcid.org/0009-0009-0955-6076>

Universidad Politécnica Salesiana

Ecuador

David Patricio Guerrero Cuasapazdguerrero@ups.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-8547-906X>

Universidad Politécnica Salesiana

Ecuador

Jaime Eduardo Fernández Ñacatojfernandezn@est.ups.edu.ec<https://orcid.org/0009-0004-9947-2354>

Universidad Politécnica Salesiana

Ecuador

RESUMEN

Los sistemas de protección sísmica son elementos diseñados para reducir los efectos destructivos de los sismos en las estructuras, disipan la energía sísmica mediante mecanismos de deformación controlada, por tal motivo, los disipadores seleccionados fueron, Fluid Viscous Dampers (FVD) utilizan un fluido viscoso para disipar la energía sísmica y Shear Link Bozzo (SLB) utilizan la deformación plástica de elementos metálicos, con el fin de generar una deformación en el dispositivo. El análisis comparativo se llevó a cabo mediante la modelación de una edificación metálica con características geométricas regulares, se encuentra ubicada en Quito-Ecuador. Para conocer el comportamiento sismorresistente, se realizó un análisis no lineal Pushover, para evaluar el rendimiento de los dispositivos bajo condiciones sísmicas, la investigación se realizó mediante simulaciones en un software de análisis estructural, con el fin de determinar que dispositivo sísmico presenta un mejor comportamiento durante un sismo. Se consideraron las derivas inelásticas, los desplazamientos y demás parámetros indicados en la NEC-SE-DS-2015 para evaluar el rendimiento de los disipadores. Los resultados del estudio revelan que ambos dispositivos, FVD y SLB, son efectivos para reducir los daños estructurales durante un sismo, manteniendo las derivas inelásticas dentro de los límites aceptables. Sin embargo, los disipadores FVD demostraron una mayor capacidad para reducir la amplitud de los desplazamientos en comparación con los dispositivos SLB.

Palabras clave: fluid viscous dampers, shear link bozzo, análisis no lineal, Pushover, pórticos especiales arriostrados concéntricamente

¹ Autor principal

Correspondencia: dguerrero@ups.edu.ec

Comparative Technical Analysis Using FVD and SLB type Seismic Dissipators on Regular Steel Structures

ABSTRACT

Seismic protection systems are elements designed to reduce the destructive effects of earthquakes on structures, they dissipate seismic energy through controlled deformation mechanisms, for this reason, the selected dissipators were Fluid Viscous Dampers (FVD) use a viscous fluid to dissipate seismic energy and Shear Link Bozzo (SLB) use the plastic deformation of metallic elements, in order to generate a deformation in the device. The comparative analysis was carried out by modelling a metallic building with regular geometrical characteristics, located in Quito-Ecuador. In order to know the seismic-resistant behaviour, a non-linear Pushover analysis was carried out to evaluate the performance of the devices under seismic conditions. The research was carried out by means of simulations in a structural analysis software, in order to determine which seismic device has a better behaviour during an earthquake. Inelastic drifts, displacements and other parameters indicated in the NEC-SE-DS-2015 were considered to evaluate the performance of the dissipators. The results of the study reveal that both FVD and SLB devices are effective in reducing structural damage during an earthquake by keeping the inelastic drifts within acceptable limits. However, the FVD heatsinks demonstrated a greater ability to reduce the amplitude of displacements compared to the SLB devices.

Keywords: fluid viscous dampers, shear link bozzo, nonlinear analysis, Pushover, concentrically braced special frames

Artículo recibido 10 agosto 2024

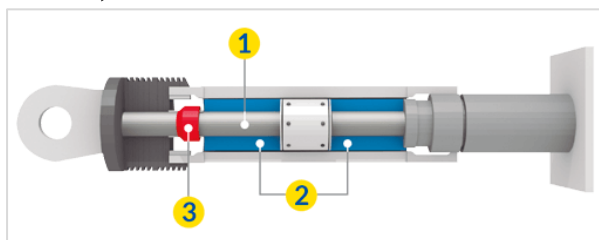
Aceptado para publicación: 15 agosto 2024



INTRODUCCIÓN

Los sistemas de protección sísmica están diseñados para reducir los efectos destructivos de un sismo en una estructura mediante la disipación de energía a través de mecanismos de deformación controlados, protegiendo así la estructura de daños y colapsos. En este estudio se eligieron los dispositivos basados en requisitos de rendimiento sísmico y características estructurales. Estos dispositivos, de diseño y construcción simples, son herramientas valiosas para reducir la vulnerabilidad sísmica de la edificación. Los dispositivos sísmicos Fluid Viscous Dampers (FVD), son un tipo específico de dispositivo sísmico que utiliza fluido viscoso para disipar energía del movimiento sísmico y reducir la fuerza sísmica que actúa en la estructura, funcionan moviendo un pistón dentro de un cilindro lleno de fluido viscoso. Cuando la estructura se mueve durante un sismo, el pistón se desplaza dentro del cilindro, lo que genera fricción y elevación de la temperatura del fluido como se muestra en la Figura 1. Esta fricción y elevación de la temperatura disipan la energía del movimiento sísmico, reduciendo la amplitud de las oscilaciones de la estructura y minimizando los posibles daños, en la actualidad los disipadores fluidos viscosos con vástago de pistón son los más recomendados (Edwin & Ricardo, 2021).

Figura 1. Corte longitudinal de dispositivo (Taylordevices inc., 2023). 1) Pistón inoxidable. 2)Silicona inerte. 3) Sellos.



Los dispositivos sísmicos Shear Link Bozzo (SLB), son un tipo específico de disipador de energía diseñado para proteger las estructuras contra los efectos destructivos de los terremotos. Funcionan mediante la deformación plástica de elementos metálicos especialmente diseñados, disipando la energía a través de la fricción y la deformación del material, que le permite actuar como una rotula plástica (Guilcaso Tipan et al., 2023).

El dispositivo en cuestión no transfiere carga axial al sistema, debido a su instalación mediante conexiones almenadas como se muestra en la Figura 2, es por esta razón que se permite su incorporación libremente en la estructura tanto en planta como en altura, además la conexión puede

ser por medio de barras desacopladas a la estructura global y evitando fallos por corte o pandeo al limitar su fuerza axial (Bozzo Fernández, 2021).

Figura 2. Dispositivo SLB de 3.a generación (Bozzo Fernández, 2021).



La investigación muestra una edificación tipo Hospital con características geométricas regulares y de uso esencial, en acero estructural, el modelo cuenta con dos disipadores de energía sísmica FVD y SLB, ambos con una configuración tipo Chevron, colocados en los nudos del entrepiso, entre los ejes 3-4 y C-D, desde los niveles $N \pm 0,00$ y $N + 54,00$.

Por esta razón, se aplicó la filosofía de diseño descrita por la (NEC-SE-DS-2015, 2015), la cual está basada en el desempeño, para evitar el colapso de la estructura, evaluando su eficacia en la reducción de desplazamientos.

METODOLOGÍA

Para determinar el nivel de desempeño de la estructura, se efectuó un análisis no lineal Pushover. El objetivo de este análisis es determinar la curva de capacidad y obtener el punto de desempeño para los niveles de amenaza sísmica referenciados en la Norma Ecuatoriana de Construcción (Lopez Sánchez et al., 2024). Este método consiste en aplicar una carga lateral creciente a la estructura, similar a la fuerza sísmica, y monitorizar su respuesta en términos de desplazamientos, deformaciones y fuerzas internas utilizando software de elementos finitos.

Para el modelo estructural presente se verificó el modelo propuesto por (Yaguana Torres et al., 2021) el cual es un sistema SMF de doce pisos en total, a la edificación se le implanto los dos dispositivos FVD y SLB. Esta edificación presenta una altura de 54,00 m. Se ubica en la ciudad de Quito-Ecuador, sobre un suelo tipo “D”, su factor de reducción sísmica es $R=8$. Es una edificación de uso esencial con regularidad en planta y elevación.

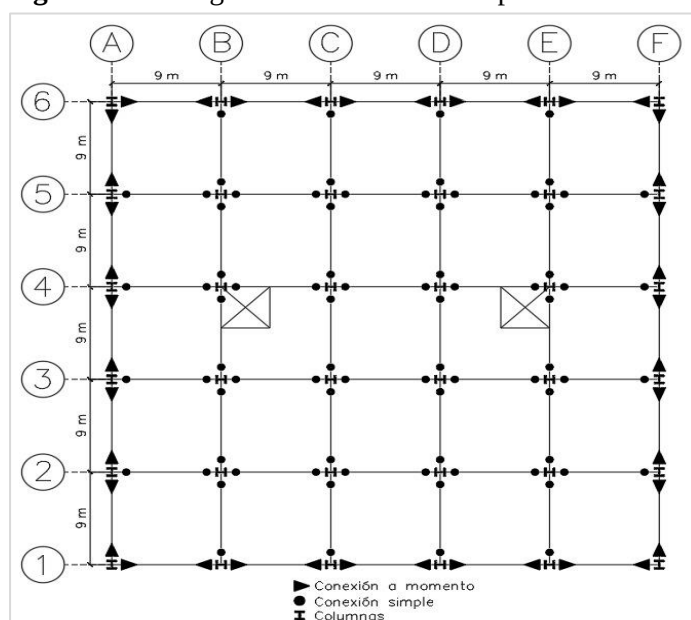
En la Tabla 1 se puede apreciar los demás datos del modelo de estudio, así como se puede visualizar

en la Figura 3 la configuración de la edificación en planta.

Tabla 1. Características geométricas del modelo analizado.

Descripción	Edificio 12 niveles SLB/BRB	Unidad
Número de vanos	5	U
Luz de vanos	9	m
Altura entrepiso	4,5	m
Altura total	54	m
Número de pisos	12	Nivel
Área planta tipo	2025	m ²

Figura 3. Planta genérica de edificio con pórticos de acero estructural



La configuración estructural de columnas, vigas, viguetas y losas de placa colaborante son de acero ASTM 572 Gr.50, en la Tabla 2 se resumen las propiedades de los materiales.

Se consideraron cargas permanentes para entrepiso y cubierta, en las que se consideró instalaciones eléctricas, de saneamiento, de gas, etc. También se incluyeron cargas vivas para entre piso y cubierta, para ello se optó por valores recomendados por la (NEC-SE-DS-2015, 2015).

Tabla 2. Propiedades asumidas de los materiales para la modelación de la estructura.

Material	Valor
f'c (Losa)	2,35 kN/cm ²
fy (Deck)	25,5 kN/cm ²
fy (ASM 36)	24,82 kN/cm ²

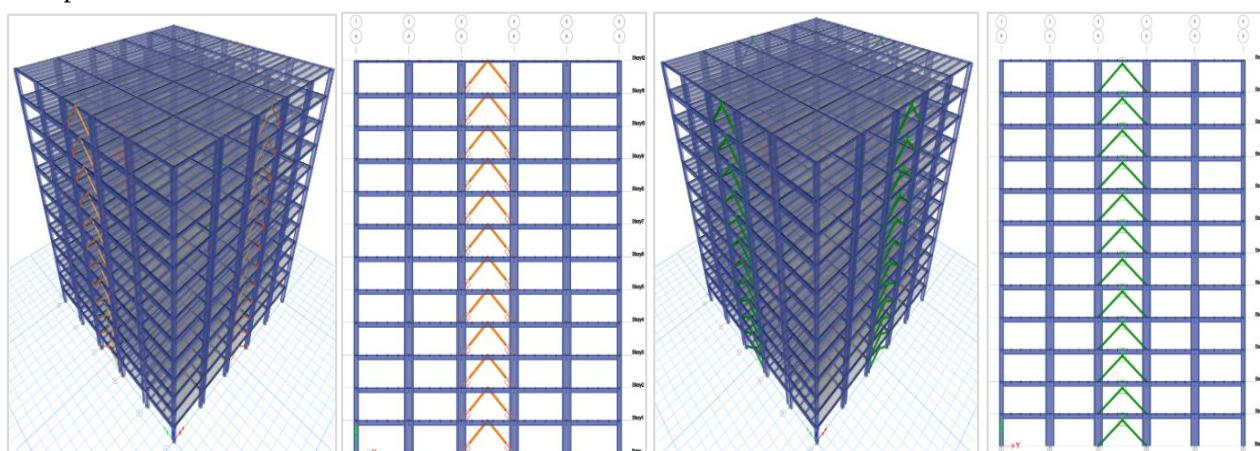
Fy (ASTM 572 Gr.50)	34,47 kN/cm ²
γ Concreto	23,54 kN/cm ³
γ Acero	76,98 kN/cm ³
E acero	20593,97 kN/cm ²

En la Tabla 3 se detalla los valores de las cargas, se consideraron previo a un análisis detallado en función del requerimiento de la edificación. Además, la Figura 4 (a) y (b) muestra las vistas de fachada y 3D de la modelación estructural donde se implanto los dispositivos FVD y SLB.

Tabla 3. Carga vertical para el modelado del edificio.

Tipo de cargas			
Cargas Permanentes		Cargas Vivas	
Entrepiso (kN/m ²)	3.51	Entrepiso (kN/m ²)	2.9
Cubierta (kN/m ²)	0.19	Cubierta (kN/m ²)	0.7

Figura 4. Modelación estructural en el software ETABS v21.1.0 [8]. a) Dispositivo FVD. b) Dispositivo SLB.



Verificación del diseño sismorresistente

La verificación sísmica se realizó mediante la (NEC-SE-DS-2015, 2015) .La norma establece condiciones sobre modos de vibración, derivas inelásticas, desplazamientos y cortantes máximos para garantizar que la edificación pueda resistir sismos, protegiendo a sus ocupantes y minimizando daños. Estos parámetros también son esenciales para comparar los sistemas de disipación FVD y SLB.

Problema torsional en la estructura

Debido a que la estructura se encuentra en una categoría de edificación esencial, la edificación establecida por (Yaguana Torres et al., 2021) escogió como tipo de uso un Hospital, es por ello que se colocó cargas adicionales, en el entrepiso y en la cubierta, estas cargas se obtuvieron de un análisis previo dada por la norma (NEC-SE-DS-2015, 2015) una vez ubicadas las cargas necesarias para el tipo de edificación, se realizó entonces la verificación sísmica, en donde se pudo determinar la presencia de torsión en los modos de la estructura. La torsión puede resultar en altos esfuerzos y deformaciones en ciertas áreas de la estructura, lo que puede comprometer su estabilidad y seguridad (Parra Yambay, 2023).

La norma ecuatoriana de la construcción indica que la torsión accidental se debe tomar en cuenta para asegurar que las estructuras diseñadas puedan resistir estas fuerzas torsionales. En el modelo, un aumento de cargas provocó una rotación excesiva alrededor del eje longitudinal, lo que podría causar deformaciones no deseadas o fallos estructurales.

La edificación tiene una distribución irregular de sobrecarga muerta en el entrepiso y en la cubierta como se observa en la Tabla 4. Dado que la edificación es regular en planta, los dispositivos sísmicos mencionados ayudan a controlar el comportamiento causado por esta sobrecarga adicional. En las Figuras 5 (a) y (b) se detalla la distribución de cargas.

En términos generales, los sistemas para controlar los desplazamientos y torsiones excesivas producidas por el sismo se pueden agrupar en dos categorías (Crisafulli, 2018) como se muestra en la Figura 6. Los sistemas pasivos se subdividen en dos grupos, el presente estudio está enfocado en los sistemas de disipación de energía, en donde se encuentran los de tipo FVD y SLB estos funcionan como un amortiguamiento adicional, además serán diseñados para ser colocados en estructuras arriostradas mediante esta combinación de elementos se busca controlar los desplazamientos y distorsiones del piso.

Tabla 4. Sobrecargas permanentes para Hospitales.

Sobrecarga Adicional		Tipo de Carga
Entrepisos (kN/m ²)	1,08	Quirófanos, Pasillos
Cubierta (kN/m ²)	1,96	Equipos complementarios (Sistema de Ventilación, Reservas de agua y Oxígeno)

Figura 5. Sobrecarga permanente. a) Entrepiso N + 49,50 m. b) Cubierta N + 54,00 m.

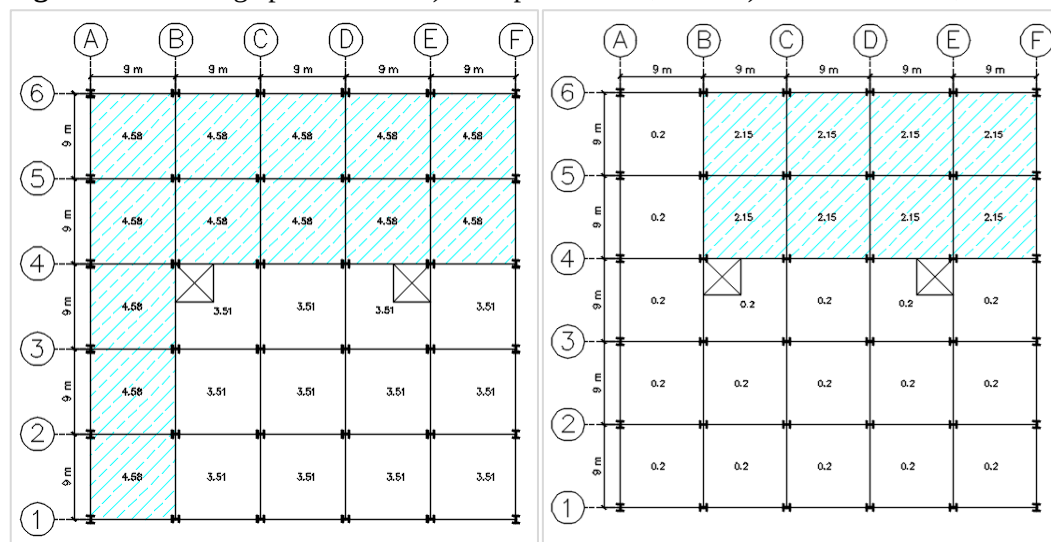
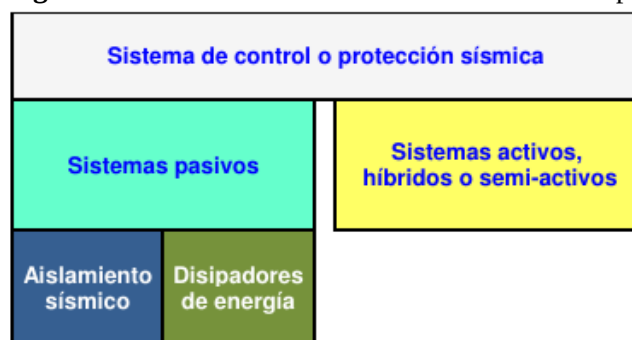


Figura 6. Clasificación de los distintos sistemas de protección sísmica (Crisafulli, 2018).



Modelos estructurales utilizando disipadores SLB

La configuración estructural para la implementación del dispositivo sísmico dentro de la estructura se desarrolló mediante pórticos especiales arriostrados concéntricamente (SCBF). Los pórticos con arriostramientos concéntricos son sistemas en los que elementos diagonales proveen la resistencia necesaria para soportar las cargas sísmicas (NEC-SE-AC, 2016).

La modelación de los disipadores SLB se realizó mediante el Manual SLB Devices (Bozzo et al., 2019) se siguió el procedimiento iterativo directo e inverso, con la finalidad de optimizar la sección y

disposición de estos dispositivos dentro de la estructura, mediante un análisis modal, posteriormente se estableció una relación entre el cortante actuante en los links y su fuerza de inicio de plastificación, a esto se le conoce como índice Demanda/Capacidad.

El método directo parte de una selección inicial de dispositivos basados en estimaciones preliminares, es mediante el análisis modal que se determinó las fuerzas actuantes en los dispositivos. Después de haber realizado los procedimientos de iteración directa, se aumentó las dimensiones del dispositivo hasta alcanzar un índice D/C inferior a un factor objetivo típicamente de máximo 1,50 (Bozzo Fernández, 2021).

Lo que se busca por medio de estos dispositivos es liberar energía, sirviendo entonces como rotulas plásticas a partir de deformaciones que permite el acero estructural (Chuquimango Castillo, 2022). En la Tabla 5 se describe el método directo para el análisis de tipo lineal, los dispositivos finalmente seleccionados fueron ajustados para cumplir con los requisitos estructurales y de resistencia.

Tabla 5. Método Directo para la selección de disipadores SLB.

Iteración inicial				Iteración Final			Control		
Elevación (m)	Link	V (kN)	Disipador SLB	Fy (kN)	SLB	Fy (kN)	V (kN)	D/C	
4,50	k25	1996,81	3xSLB4 40_11	1929,18	3xSLB4 40_11	1929,18	1996,81	1,04	OK
9,00	k35	4233,12	3xSLB4 65_14	4069,56	3xSLB4 65_14	4069,56	4233,12	1,04	OK
13,50	k34	5022,27	3xSLB4 65_18	5013,36	3xSLB4 65_18	5013,36	5022,27	1,00	OK
18,00	k33	5098,37	3xSLB4 65_18	5013,36	3xSLB4 65_16	4535,89	5098,37	1,12	OK
22,50	k32	4905,30	3xSLB4 65_18	5013,36	3xSLB4 65_15	4301,30	4905,30	1,14	OK
27,00	k31	4635,91	3xSLB4 65_16	4535,89	3xSLB4 65_14	4069,56	4635,91	1,14	OK
31,50	k30	4045,53	3xSLB4 65_13	3829,72	3xSLB4 65_12	3584,18	4045,53	1,13	OK
36,00	k29	3486,85	3xSLB4 65_12	3584,18	3xSLB4 60_11	2979,23	3486,85	1,17	OK
40,50	k28	2945,27	3xSLB4 60_11	2979,23	3xSLB4 50_12	2652,23	2945,27	1,11	OK
45,00	k27	2331,73	3xSLB4 50_12	2652,23	3xSLB4 40_10	1803,94	2331,73	1,29	OK
49,50	k26	1933,54	3xSLB4 40_11	1929,18	3xSLB4 40_8	1537,45	1933,54	1,26	OK
54,00	k36	248562	SLB3 25_3	238200	SLB3 20_4	188300	248562	1,32	OK

Tabla 6. Método Inverso para la selección de disipadores SLB.

Iteración Inicial							Iteración Final					Control	
Elevación (m)	Link	SLB	Fy disipador	V2 (kN)	D/C	Control	SLB	K1 (kN/cm)	Deformación (cm)	Kf (kN/cm)	SLB	V2 (kN)	D/C
4,50	k25	3xSLB440_11	1929,18	1996,81	1,04	Aumentar rigidez	3xSLB440_11	33760,58	0,06	37539,02	3xSLB440_11	2218,68	1,15 Ok
9,00	k35	3xSLB465_14	4069,56	4233,12	1,04	Aumentar rigidez	3xSLB465_14	73138,08	0,06	80828,83	3xSLB465_15	4703,47	1,16 Ok
13,50	k34	3xSLB465_18	5013,36	5022,27	1,00	Aumentar rigidez	3xSLB465_18	90541,10	0,06	103880,35	3xSLB465_18	5580,31	1,11 Ok
18,00	k33	3xSLB465_18	5013,36	5098,37	1,02	Aumentar rigidez	3xSLB465_16	81994,66	0,06	92690,67	3xSLB465_18	5664,85	1,13 Ok
22,50	k32	3xSLB465_18	5013,36	4905,30	0,98	Aumentar rigidez	3xSLB465_15	77609,57	0,06	91224,04	3xSLB465_18	6131,62	1,22 Ok
27,00	k31	3xSLB465_16	4535,89	4635,91	1,02	Aumentar rigidez	3xSLB465_14	73138,08	0,06	82275,63	3xSLB465_16	5151,01	1,14 Ok
31,50	k30	3xSLB465_13	3829,72	4045,53	1,06	Aumentar rigidez	3xSLB465_12	63980,11	0,06	69686,42	3xSLB465_13	4495,04	1,17 Ok
36,00	k29	3xSLB465_12	3584,18	3486,85	0,97	Aumentar rigidez	3xSLB460_11	53053,34	0,07	62736,72	3xSLB460_11	4981,21	1,39 Ok
40,50	k28	3xSLB460_11	2979,23	2945,27	0,99	Aumentar rigidez	3xSLB450_12	46798,12	0,06	54469,23	3xSLB460_11	3681,59	1,24 Ok
45,00	k27	3xSLB450_12	2652,23	2331,73	0,88	Aumentar rigidez	3xSLB440_10	31318,89	0,07	40940,45	3xSLB440_11	3331,04	1,26 Ok
49,50	k26	3xSLB440_11	1929,18	1933,54	1,00	Aumentar rigidez	3xSLB440_8	26156,65	0,07	30021,05	3xSLB440_8	2148,37	1,11 Ok
54,00	k36	SLB3 25_3	238,20	248,56	1,04	Aumentar rigidez	SLB320_4	3105,53	0,08	3424,13	SLB3 20_4	276,18	1,16 Ok



El método inverso es un proceso alternativo al método directo para el diseño de dispositivos SLB, este proceso de interacción inverso tuvo como propósito buscar y fijar el valor de la fuerza de corte en el disipador, por lo tanto, la iteración consistió en reducir el tamaño del disipador en el modelo numérico, con esta finalidad se logró calibrar la fuerza de corte transferida (Bozzo et al., 2019).

Este método fija la fuerza máxima que los disipadores pueden transferir a las uniones, se seleccionó un dispositivo grande, después se redujo el tamaño de los dispositivos iterativamente hasta cumplir con la fuerza de corte transferida. En la Tabla 6 se muestra el procedimiento del método en cuestión, además se puede observar que el índice D/C trabaja con una ratio de 1,10 a 1,50 de su fuerza de fluencia, ya que es lo óptimo según el manual de diseño SLB Devices (Bozzo et al., 2019) para no sobredimensionar el sistema de protección sísmica.

Guilcaso et al (Guilcaso Tipan et al., 2023) indicó la Ecuación (1) para calcular la rigidez ficticia

$$K_f = 1.15 \frac{F_y}{\text{defdisp}} \quad (1)$$

Donde:

Kf: rigidez ficticia.

Fy: fuerza de fluencia del dispositivo.

defdisp: desplazamiento del dispositivo.

Por lo tanto, mediante esta expresión se cumple las condiciones mencionadas del índice D/C y se garantiza dispositivos optimizados en tamaño y se evita diseños excesivamente robustos.

Modelos estructurales utilizando disipadores FVD

Al ser un dispositivo sísmico de tipo pasivo estos también pueden combinarse con los pórticos SCBF para mejorar aún más el desempeño sísmico de una estructura. Es importante seleccionar los dispositivos FVD adecuados para cada tipo de estructura y así disminuir el nivel de riesgo sísmico.

Los dispositivos fluido viscosos dependen de la velocidad, por ello es necesario controlar su respuesta dinámica, es por eso que se considera la rigidez del sistema con un valor bastante alto y se modela el brazo metálico, esto debido a que la rigidez del disipador es menor que la del brazo metálico (Caballero Costa, 2021).

Sin embargo, los diseñadores han tenido que estimar los parámetros del disipador dentro de la estructura, mediante la determinación del amortiguamiento que se necesitara en la edificación, así este enfoque nos permite producir un diseño optimo (Pettinga et al., 2013).

Con el fin de realizar el análisis sísmico adecuado del disipador FVD, se utilizó las derivas máximas de piso extraídos del software ETABS [8] los cuales fueron de 0.00597 sentido X-X y de 0.010186 en el sentido Y-Y. Así como la identificación de la deriva objetiva que se puede observar en la Tabla 7, que fue de 0.010 según la normativa técnica E.030. (NTP E.030, 2016) debido a que se modelo una estructura regular de acero.

Tabla 7. Límites para la distorsión del entrepiso (NTP E.030, 2016).

Límites para la distorsión del entrepiso	
Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Mediante los valores antes mencionados, se calculó la reducción por amortiguamiento con la Ecuación (2) en los dos sentidos.

$$B_{x,y} = \frac{\delta_{max_{x,y}}}{\delta_{obj}} \quad (2)$$

Donde:

$B_{x,y}$: reducción por amortiguamiento en sentido X-X y Y-Y.

$\delta_{max_{x,y}}$: derivas máximas en sentido X-X y Y-Y.

δ_{obj} : deriva objetiva.

En el sentido X-X se obtuvo un resultado de 0,60 y en el sentido Y-Y un resultado de 1,02 con estos valores se pudo determinar el amortiguamiento que necesita la estructura, a continuación, se utilizó la normativa americana de la construcción (ASCE 7-22, 2022) en la Tabla 8 se puede observar los valores del coeficiente de amortiguamiento con más detalle. Así se obtuvo un amortiguamiento de diseño de 2 % en el sentido X-X y 10 % en el sentido Y-Y.

Tabla 8. Coeficiente de amortiguamiento

Effective Damping, β (percentage of critical)	$B_{V+I}, B_{1D}, B_{1E}, B_R, B_{1M}, B_{mD}, B_{mM}$ (Where Period of the Structure $\geq T_0$)
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,8
40	2,1
50	2,4
60	2,7
70	3,0
80	3,3
90	3,6
≥ 100	4,0

$B_{V+I}, B_{1D}, B_{1E}, B_R, B_{1M}, B_{mD}, B_{mM}$ (Periodo de las estructuras $\geq T_0$) (ASCE 7-22, 2022).

Al obtener el porcentaje de amortiguamientos de diseño, se procedió a realizar el predimensionamiento de los dispositivos FVD, mediante los cálculos pertinentes. Para el sistema de disipación lineal, se consideró una estructura de un solo grado de libertad, equipado con un amortiguador viscoso lineal bajo una historia de desplazamiento sinusoidal impuesta. Con el fin de convertirlo en un sistema no lineal, se ocupó un factor de amortiguamiento $\alpha=0,4$ que nos ofrece la normativa vigente (FEMA-356, 2000) ya que este se desprende de un sistema SDOF (Grado Único de Libertad) con un amortiguador viscoso no lineal bajo movimientos sinusoidales (Hwang, 2002).

Obteniendo un valor de fuerza de amortiguamiento de diseño $26,22 \text{ tf}^*(\text{s/m})\alpha$ en el sentido X-X y de $95,33 \text{ tf}^*(\text{s/m})\alpha$ en el sentido Y-Y, cómo se puede observar en las Tablas 9 y 10 respectivamente, para cada nivel de la edificación.

Tabla 9. Diseño de coeficientes de amortiguamiento para el disipador FVD en sentido XX.

Nivel	m_i $tf \cdot s^2/m$	ϕ_i	ϕ_i normal	ϕ_{rj}	θ_j (°)	$f = \cos \theta_j$	$m_i \phi_i$	$m_i \phi_i^2$	$C' = C_j/C$	CL_j $tf \cdot s/m$	$C_j f^2$ ϕ_{rj}^2	CNL_j $tf \cdot (s/m)^a$	$\lambda C_j f(1+\alpha)$ $\phi_{rj}(1+\alpha)$
1	199,88	0,000001	0,08	0,08	45	1,00	15,376	1,183	1,00	125,13	0,74	26,22	2,53
2	199,88	0,000001	0,08	0,00	45	1,00	15,376	1,183	1,00	125,13	0,00	26,22	0,00
3	199,88	0,000002	0,15	0,08	45	1,00	30,751	4,731	1,00	125,13	0,74	26,22	2,53
4	199,88	0,000004	0,31	0,15	45	1,00	61,502	18,92	1,00	125,13	2,96	26,22	6,68
5	186,55	0,000005	0,38	0,08	45	1,00	71,752	27,60	1,00	125,13	0,74	26,22	2,53
6	173,37	0,000007	0,54	0,15	45	1,00	93,353	50,27	1,00	125,13	2,96	26,22	6,68
7	173,37	0,000008	0,62	0,08	45	1,00	10,669	65,65	1,00	125,13	0,74	26,22	2,53
8	173,37	0,000010	0,77	0,15	45	1,00	133,36	102,59	1,00	125,13	2,96	26,22	6,68
9	173,37	0,000011	0,85	0,08	45	1,00	146,70	124,13	1,00	125,13	0,74	26,22	2,53
10	173,37	0,000012	0,92	0,08	45	1,00	160,03	147,72	1,00	125,13	0,74	26,22	2,53
11	171,98	0,000012	0,92	0,00	45	1,00	158,75	146,54	1,00	125,13	0,00	26,22	0,00
12	84780	0,000013	1,00	0,08	45	1,00	84,782	84,780	1,00	125,13	0,74	26,22	2,53
Σ							1078,43	775,30			14,07		37,74

Tabla 10. Diseño de coeficientes de amortiguamiento para el dissipador FVD en sentido YY.

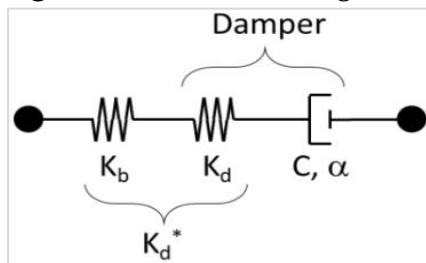
Nivel	m_i $\text{tf}^* \text{s}^2/\text{m}$	ϕ_i	ϕ_i normal	ϕ_{rj}	θ_j (°)	$f=\cos\theta_j$	$m_i\phi_i$	$m_i\phi_i^2$	$C'=C_j/C$	CL_j $\text{tf}^* \text{s}/\text{m}$	$C_j f^2$ ϕ_{rj}^2	CNL_j $\text{tf}^*(\text{s}/\text{m})^a$	$\lambda C_j f(1+\alpha)$ $\phi_{rj}(1+\alpha)$
1	199,88	0,000031	0,03	0,03	45	1,00	5,220	0,136	1,00	398,17	0,27	95,33	2,028
2	199,88	0,000109	0,09	0,07	45	1,00	18,355	1685	1,00	398,17	1,72	95,33	7,380
3	199,88	0,000215	0,18	0,09	45	1,00	36,204	6558	1,00	398,17	3,18	95,33	11,34
4	199,88	0,000339	0,29	0,10	45	1,00	57,085	16,30	1,00	398,17	4,35	95,33	14,12
5	186,55	0,000470	0,40	0,11	45	1,00	73,867	29,25	1,00	398,17	4,85	95,33	15,25
6	173,37	0,000606	0,51	0,11	45	1,00	88,510	45,19	1,00	398,17	5,23	95,33	16,07
7	173,37	0,000736	0,62	0,11	45	1,00	107,50	66,65	1,00	398,17	4,78	95,33	15,09
8	173,37	0,000854	0,72	0,10	45	1,00	124,73	89,74	1,00	398,17	3,93	95,33	13,17
9	173,37	0,000957	0,81	0,09	45	1,00	139,78	112,69	1,00	398,17	3,00	95,33	10,89
10	173,37	0,001043	0,88	0,07	45	1,00	152,34	133,86	1,00	398,17	2,09	95,33	8,460
11	171,98	0,001118	0,94	0,06	45	1,00	161,99	152,57	1,00	398,17	1,59	95,33	6,980
12	84780	0,001187	1,00	0,06	45	1,00	84,782	84,78	1,00	398,17	1,35	95,33	6,215
Σ							1050,36	739,41			36,32		126,99



Con los coeficientes determinados, mediante un análisis del amortiguamiento que se necesitaba bajo las características específicas de esta estructura, se pudo considerar que los disipadores FVD implementados, no se encontraron sobredimensionados y que cumplieron con su propósito de disipar la energía sísmica óptimamente.

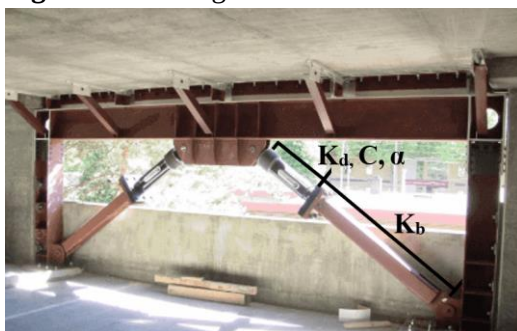
Los elementos que conectan el disipador térmico pueden influir en la respuesta del amortiguador. Por tanto, en lugar de modelar el disipador y las riostras por separado, deben considerarse un único elemento de unión, como se muestra en la figura 7, donde puede observarse la interacción entre ambos componentes.

Figura 7. Modelo de amortiguador en serie con una abrazadera extensible (Taylor Device Inc, 2020).



La ubicación óptima del dispositivo resultó de la verificación del lugar con más necesidad de reforzamiento, donde se siguió las recomendaciones de (Şigaher & Constantinou, 2003) llegando a determinar una configuración tipo chevron, como se puede observar en la Figura 8, donde se muestra la disposición del dispositivo FVD tipo Taylor.

Figura 8. Amortiguadores viscosos con tirantes expansibles (Taylor Device Inc, 2020).



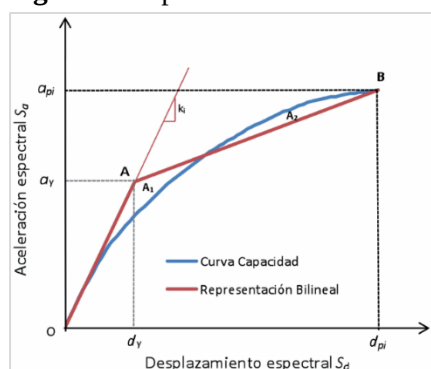
Análisis estático no lineal (Pushover)

El análisis estático No-lineal es una herramienta utilizada para identificar las vulnerabilidades de una edificación durante un sismo. Este método consiste en aplicar una carga creciente de forma monotónica hasta obtener una curva de capacidad de carga, que relaciona el cortante basal con el desplazamiento en el nivel superior de la edificación (González González, Ricardo Manuel Pájaro Cudris, 2015).

Para la determinar la curva de capacidad de una estructura, se optó por la guía (ASCE/SEI-41-13, 2007) y por la guía (FEMA-356, 2000), las guías detallan el procedimiento de análisis Pushover. La estructura previamente diseñada se somete a un patrón de carga lateral que simula la distribución de las fuerzas sísmicas. Esta carga se incrementa de forma controlada hasta que se alcanza un estado límite de comportamiento, como la formación de rótulas plásticas. A partir de ahí, se obtiene un límite de desempeño mediante una curva bilineal, que permite estimar la demanda de desplazamiento. La curva de capacidad, que relaciona la fuerza cortante total de la base con el desplazamiento superior de la estructura, se muestra en la figura 9.

La curva de capacidad muestra la capacidad de la estructura para resistir cargas laterales y proporciona información sobre la ductilidad y la resistencia. El punto de rendimiento es la intersección entre la curva de capacidad y el espectro de demanda ajustado, e indica el desplazamiento y la fuerza que la estructura puede soportar durante un sismo. Se utilizó la metodología Pushover debido a su conveniencia para identificar mecanismos de falla, su versatilidad con diferentes materiales estructurales, y su capacidad para detectar grietas y la formación de rotulas plásticas.

Figura 9. Representación bilineal de la curva de capacidad (Medina & Music, 2018).



Existen diversos métodos de investigación, como los niveles de desempeño descritos en la norma Visión 2000 (SEAO, 2019), que proponen un diseño sísmico basado en el desempeño. A continuación, se presenta una matriz conceptual para comprender los objetivos de desempeño de estructuras de uso esencial, estándar y crítico. La figura 10 ilustra la matriz que especifica los niveles de desempeño sísmico. Estos niveles son esenciales para priorizar estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmico en edificaciones de uso esencial. Este enfoque permite una toma de decisiones informada sobre la gestión del riesgo sísmico, minimizando el impacto en la infraestructura.

Para interpretar el nivel de desempeño, se utiliza la curva de capacidad, que relaciona el cortante en la base con el desplazamiento en la parte superior de la estructura.

(Cagua-Gómez et al., 2022) explica que la aplicación de cargas laterales en cada piso considera 100 % de la fuerza horizontal del piso en el sentido de análisis y 30 % en el sentido ortogonal. Así, los niveles de desempeño de la estructura se pueden asociar a desplazamientos laterales en la edificación, como se muestra en la Figura 11.

Figura 10. Objetivos de diseño sísmico basados en desempeño (Safina Melone, 2003).

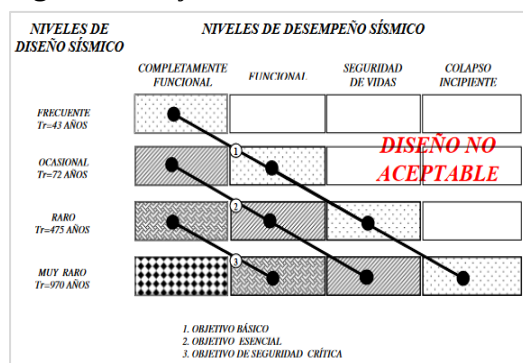
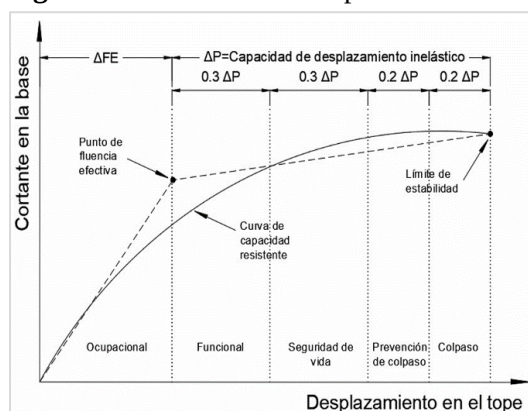


Figura 11. Niveles de desempeño en función del desplazamiento en el tope (Cagua-Gómez et al., 2022).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de examinar el comportamiento estructural de los dispositivos FVD y SLB en el modelo de estructuras propuesto, se han realizado los siguientes análisis fundamentales de acuerdo con las normativas (NEC-SE-DS-2015, 2015), (FEMA-273, 2000) y (FEMA-356, 2000).

Periodos de vibración

El análisis determinó los periodos de vibración mediante métodos estáticos y modales espectrales. Los resultados del modelo para los disipadores sísmicos FVD y SLB se presentan en la tabla 11.

Para el parámetro del período de vibración, la (NEC-SE-DS-2015, 2015) establece que no debe ser excedido el 30 % en el modal 1 y 2 para el valor calculado mediante el método 1. Se puede observar que este criterio se satisface a través de los datos obtenidos.

Tabla 11. Periodos de vibración disipadores (FVD-SLB).

Disipadores			Modo	Periodo (s)	UX	UY
Edificios 12 niveles (FVD)			1	1,620	0,707	0,000
			2	1,466	0,000	0,719
			3	1,094	0,001	0,000
Edificios 12 niveles (SLB)			1	1,620	0,698	0,000
			2	1,473	0,000	0,723
			3	1,149	0,002	0,000

El uso de estos dispositivos para disipar la energía sísmica ha mostrado resultados significativos en los periodos observados. En el modelo estructural, los periodos del modo 1 son similares tanto con disipadores SLB como FVD. Sin embargo, los dispositivos FVD han reducido los periodos de los modos 2 y 3 en un 0,48% y un 4,79%, respectivamente (de 1,473 a 1,466 en el modo 2 y de 1,149 a 1,094 en el modo 3). Además, ambos tipos de disipadores han provocado alteraciones notables en los modos de vibración, transformando la rotación en el modo 2 en movimiento de traslación, lo que garantiza el cumplimiento de los periodos exigidos por la normativa.

Derivas inelásticas

Las derivas inelásticas son deformaciones permanentes que sufre una estructura durante un terremoto y que no pueden recuperarse. Estas deformaciones son clave para evaluar la capacidad de la estructura para disipar la energía sísmica. Según (NEC-SE-DS-2015, 2015) las derivas máximas no deben superar el 2 % de la altura del edificio.

La figura 12 y la tabla 12 muestran las derivas inelásticas obtenidas a partir del análisis. Se observa una reducción del 1,75 % en la dirección X-X con el dispositivo sísmico FVD, mientras que en la dirección Y-Y la reducción alcanza el 12,83 %. Esto muestra una notable eficacia del dispositivo FVD en comparación con el otro dispositivo sísmico.

Figura 12. Derivas inelásticas FVD – SLB.

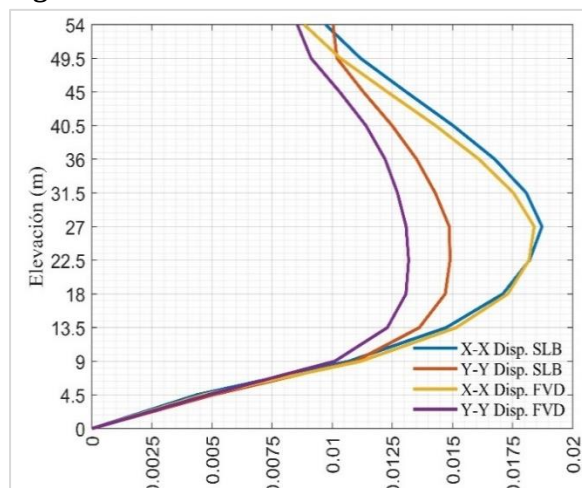


Tabla 12. Comparativa FVD y SLB.

Deriva Inelástica Máxima			
EJE	FVD	SLB	% REDUCCION
X	0,018	0,019	1750
Y	0,013	0,015	12,82

Los datos obtenidos muestran que el dissipador sísmico FVD controla mejor las derivas del suelo, evitando desplazamientos excesivos en la estructura. En comparación con el dispositivo SLB, el FVD demuestra una optimización durante un evento sísmico y cumple las normas establecidas.

Desplazamientos máximos

Mediante el software Etabs, se calculó los desplazamientos máximos, que representan la respuesta esperada de la estructura frente a un evento sísmico. Estos resultados se presentan en la Figura 13 y con mayor detalle en la Tabla 13, para ambas direcciones, los cuales son primordiales para el estudio de la seguridad, funcionalidad y comportamiento dinámico de la estructura (Gallegos Díaz Pablo Fernando, 2022).

Figura 13. Desplazamientos máximos de piso SLB-FVD.

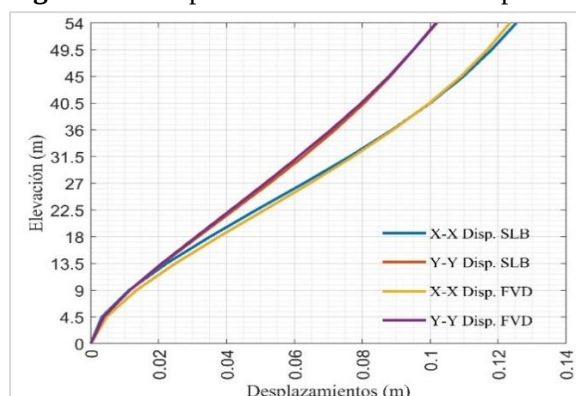


Tabla 13. Comparación FVD y SLB.

Desplazamientos Máximos			
EJE	FVD (m)	SLB (m)	% REDUCCION
X	0,124	0,125	1,50
Y	0,102	0,102	0,23

Los desplazamientos obtenidos son casi iguales en los ejes X-X e Y-Y, con una disminución de sólo el 1,5%. Esto indica que ambos dispositivos son igualmente eficaces en el control de los desplazamientos, con una eficacia ligeramente superior en el disipador FVD. Ambos dispositivos cumplen los parámetros establecidos en las normas vigentes.

Cortantes máximos

El cortante basal es un parámetro que amplifica la aceleración de la estructura en cada piso en relación con la aceleración del suelo, provocada por la acción sísmica en el nivel basal de la edificación, por lo cual es fundamental su análisis con los distintos disipadores y ver su incidencia en la edificación (Proaño-Narváez, 2023).

Mediante el análisis realizado en el modelo estructural se pudo obtener los cortantes basales máximos en la base de la estructura, los cuales se pueden observar en la Figura 14 y con mayor detalle le Tabla 14, en la dirección X-X, así como en la dirección Y-Y, los cuales se presentan a continuación para su evaluación.

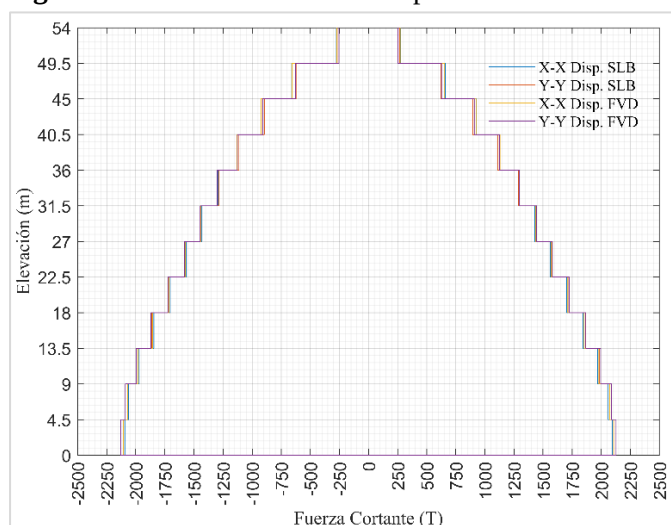
Figura 14. Cortantes máximos de piso SLB-FVD.

Tabla 14. Comparación FVD y SLB.

Fuerza Cortante (T)			
EJE	FVD	SLB	% INCREMENTA
X	2106252	2094572	0,56
Y	2127975	2106393	1,02

Los resultados muestran un aumento mínimo del 0,56 % en la dirección X-X y del 1,02 % en la dirección Y-Y con el uso del dispositivo FVD, lo que indica un rendimiento similar entre los dos dispositivos. Esto permite un cumplimiento significativo de los parámetros de reducción del cizallamiento basal.

Análisis no lineal Pushover

El análisis no lineal estático (Pushover), permite evaluar el desempeño sísmico de una estructura mediante la obtención de la curva de capacidad sísmica, que relaciona el cortante basal con el desplazamiento lateral de la edificación. Sumado a esto, identifica las secciones que ingresan al rango no lineal. Esta información es esencial para el análisis de los disipadores, ya que permite verificar si el desempeño es el esperado (Aguiar et al., 2020).

Con el fin de generar la curva de capacidad correspondiente para cada caso se utilizó la normativa (FEMA-273, 2000), con la cual se pudo interpretar los resultados obtenidos.

Durante la evaluación del modelo estructural, se obtuvieron los siguientes resultados, que se muestran en la Figura 15 y con mayor detalle en la Tabla 15 de las fuerzas alcanzadas en la estructura en el sentido X-X y Y-Y. Estos resultados indican una tendencia similar en ambos dispositivos, con una ligera disminución en la capacidad del dispositivo FVD.

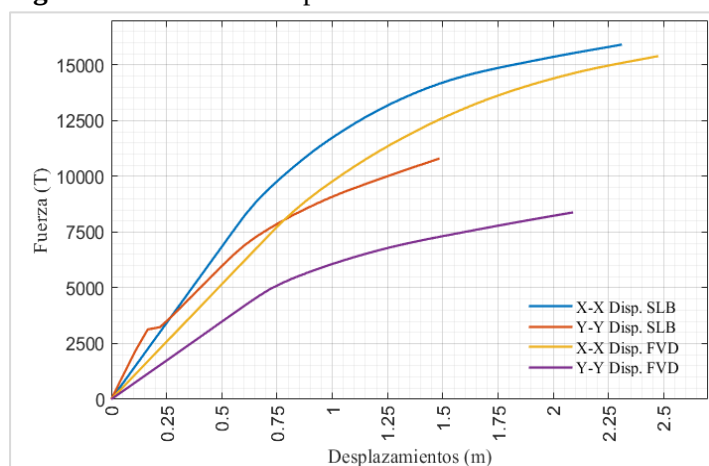
Figura 15. Fuerza vs desplazamiento SLB-FVD.

Tabla 15. Fuerzas alcanzadas en la curva demanda capacidad.

Fuerzas (T)	X-X	Y-Y
Disipador SLB	15911,71	10801,38
Disipador FVD	15393,93	8384,31

Los resultados indican que los disipadores FVD y SLB presentan fallos en los elementos con valores muy similares, y los daños en el edificio se consideran reversibles. Ambos dispositivos muestran una capacidad similar para resistir cargas sísmicas, como demuestran los valores registrados en ambas direcciones (X-X e Y-Y).

Punto de desempeño

A través del método no lineal Pushover, se estableció el punto de desempeño, de los dispositivos sísmicos FVD y SLB en los sentidos X-X y Y-Y, el cual se muestra en la Tabla 16, mediante la generación de la curva de capacidad estructural de la edificación, para determinar su nivel de desempeño global (Duarte et al., 2017).

La finalidad de este análisis fue observar el desplazamiento máximo a la que es sometida la estructura bajo una demanda sísmica (Torres & Matango, 2017). Esto se puede apreciar en las Figuras 16 (a) y (b) para los sentidos X-X y Y-Y, para el dispositivo SLB, Del mismo modo en las Figuras 17 (a) y (b) del dispositivo FVD en sentido X-X y Y-Y, respectivamente. Que se llevaron a cabo siguiendo la normativa vigente, específicamente la (FEMA-273, 2000), asegurando que los procedimientos y análisis cumplan el desempeño sísmico.

Tabla 16. Niveles de Desempeño.

	Disip.	Pushover Sentido	Punto de Desempeño		Nivel de Desempeño
			V (Ton)	D (cm)	
Edificio 12 N.	SLB	X	6582,55	48,10	Funcional
		Y	6455,96	55,04	Funcional
	FVD	X	5952,15	57,67	Funcional
		Y	4301,98	61,83	Funcional

Figura 16. Punto de desempeño del dispositivo SLB. a) Sentido X-X. b) Sentido Y-Y.

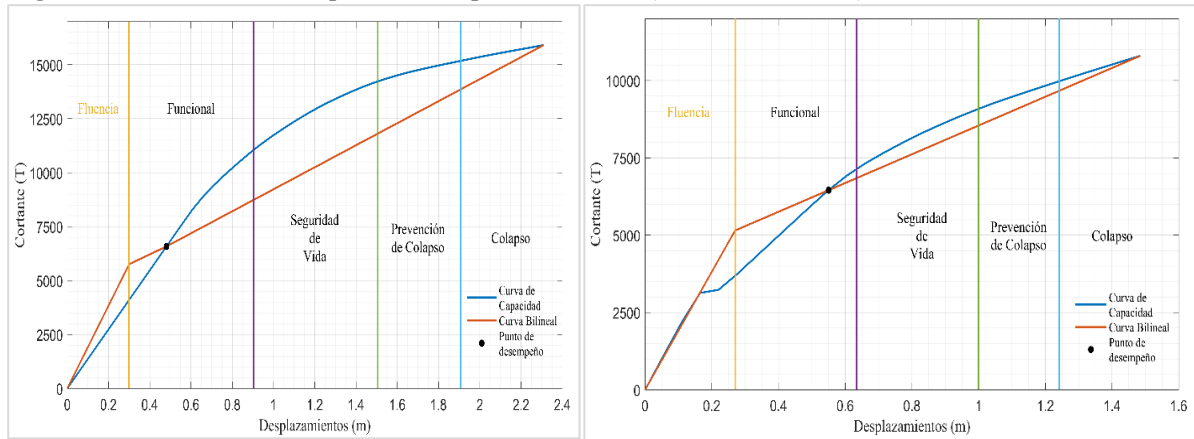
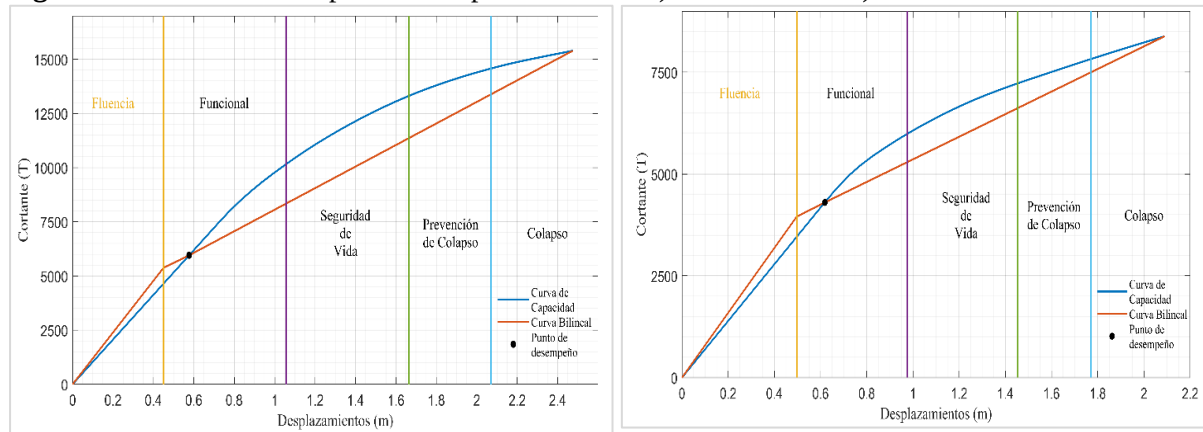


Figura 17. Punto de desempeño del dispositivo FVD. a) Sentido X-X. b) Sentido Y-Y.



Se observó que los modelos estructurales se comportaron adecuadamente en un evento sísmico. Los dos dispositivos analizados demostraron ser eficaces en la disipación de la energía sísmica. En la curva de comportamiento Pushover, ambos dispositivos mantuvieron los desplazamientos dentro de límites aceptables, estando situados en la zona funcional. Esto sugiere que ambos disipadores sísmicos son eficaces para garantizar la seguridad del edificio, manteniendo su integridad y funcionalidad durante y después de un terremoto.

CONCLUSIONES

El estudio comparativo de disipadores sísmicos tipo FVD y SLB en estructuras metálicas regulares para esta investigación, ha revelado importantes hallazgos en el campo de la ingeniería sísmica. Ambos dispositivos han demostrado ser efectivos para reducir el daño estructural durante eventos sísmicos, cumpliendo con el objetivo fundamental de preservar la integridad de las edificaciones.

Los resultados obtenidos indican que tanto los FVD como los SLB son capaces de mantener las derivas inelásticas y los cortantes máximos dentro de límites aceptables, lo que es esencial para asegurar la funcionalidad y estabilidad de las estructuras durante un sismo.

Sin embargo, al analizar con mayor detalle el comportamiento de los desplazamientos estructurales, se ha observado que los FVD presentan una ventaja mínima sobre los SLB en términos de reducción de desplazamientos. Esta diferencia, aunque sutil, sugiere que los FVD pueden ser más eficientes en situaciones donde la minimización del desplazamiento es un factor crítico, lo cual podría ser determinante en el diseño de edificaciones situadas en zonas de alta sismicidad.

Por consiguiente, la selección entre FVD y SLB no debe basarse únicamente en su capacidad general de disipación de energía, sino también en las características específicas de la estructura y los objetivos de mitigación sísmica establecidos para el proyecto. Factores como la naturaleza del terreno, la configuración estructural y el nivel de protección deseado deben influir en esta decisión. En consecuencia, la integración de disipadores sísmicos, ya sean FVD o SLB, en el diseño estructural es una estrategia sólida que contribuye significativamente a mejorar la resistencia y seguridad de las edificaciones frente a los inevitables eventos sísmicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguiar, R., Cagua, B., & Pilatasig, J. (2020). Pushover con Acoplamiento de CEINCI-LAB y OpenSees.

Centre Internacional de Mètodes ..., July.

https://www.researchgate.net/profile/BrianCagua/publication/343106104_Pushover_con_Acoplamiento_de_CEINCILAB_y_OpenSees/links/5f16f62445851515ef3bf86e/Pushover-con-Acoplamiento-de-CEINCI-LAB-y-OpenSees.pdf

ASCE/SEI-41-13. (2007). Seismic Evaluation and retrofit of existing Buildings (ASCE/SEI 41-13). In

Seismic Rehabilitation of Existing Buildings.

http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/15247/ASCE_41-13.pdf

ASCE 7-22. (2022). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. In *ANSI/ASCE Standard* (Issue ASCE/SEI 7-22).

Bozzo Fernández, G. (2021). *Una nueva generación de disipadores SLB “shear link” para el diseño sismorresistente* [ESCOLA DE CAMINS]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/346777>



- Bozzo, L., Ramirez, J., Gonzales, H., & Pantoja, M. (2019). *Manual SLB Devices*. Analisis y Diseño Utilizando Disipadores Sismicos SLB. <https://luisbozzo.com/>
- Caballero Costa, C. A. (2021). Análisis estructural de un edificio multifamiliar de 20 pisos aporticado de concreto armado implementando disipadores de fluido viscoso - Lima 2021 [Universidad Cesar Vallejo]. In *Universidad César Vallejo*.
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RSSD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cagua-Gómez, B. J., Aguiar-Falconí, R. R., & Pilatasig-Caizaguano, J. E. (2022). Influencia de la manipostería de relleno en el desempeño sísmico de estructuras aporticadas de hormigón armado. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 30(3), 513–527. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052022000300513>
- Chuquimango Castillo, Y. D. (2022). Evaluación Estructural De Una Edificación Importante Al Implementarle Disipadores SLB - Nuevo Chimbote 2022 [Universidad Cesar Vallejo]. In *Universidad Cesar Vallejo*.
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Crisafulli, F. J. (2018). Diseño sismorresistente de construcciones de acero. In *Marzo*.
<http://www.alacero.org/es/page/publicaciones/disenio-sismorresistente-de-construcciones-de-acero>
- Duarte, C., Martinez, M., & Santamaria, J. (2017). “*Análisis Estático No Lineal (Pushover) Del Cuerpo Central Del Edificio De La Facultad De Medicina De La Universidad De El Salvador*” Presentado Por [UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR].
[https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/13405/1/Análisis estático no lineal %28Pushover%29 del cuerpo central del edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador.pdf](https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/13405/1/Análisis%20estático%20no%20lineal%20Pushover%20del%20cuerpo%20central%20del%20edificio%20de%20la%20facultad%20de%20medicina%20de%20la%20universidad%20de%20el%20salvador.pdf)
- Edwin, C. M. J., & Ricardo, R. R. L. (2021). *Análisis del comportamiento sísmico de la estructura del Hospital Regional Eleazar Guzmán Barrón con disipadores de fluido viscoso*. Universidad Nacional del Santa.
- FEMA-273. (2000). FEMA 273-NEHRP Guidelines and Commentary for the Seismic Rehabilitation of

- Buildings. In FEMA (Ed.), *Earthquake Spectra FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY* (Vol. 16, Issue 1). FEMA. <https://doi.org/10.1193/1.1586092>
- FEMA-356. (2000). Fema 356 - Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building. In *Federal Emergency Management Agency* (Issue November).
- Gallegos Díaz Pablo Fernando. (2022). Análisis comparativo del diseño sismo resistente de estructura de hormigón armado basado en normativa ecuatoriana (NEC-SE-DS) y colombiana (NSR-10) [Universidad Tecnica de Ambato]. In *UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO* (Issue 8.5.2017). <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34692>
- González González, Ricardo Manuel Pájaro Cudris, G. R. (2015). *Comparación entre el método estático equivalente (norma COVENIN 1756) y el método de análisis no-lineal propuesto por el ATC-40 y FEMA 356 para el diseño sismorresistente de una estructura regular tipo I*.
- Guilcaso Tipán, D. D., Gordón Pinos, S. A., & Guerrero Cuasapaz, D. P. (2023). Estudio comparativo entre estructuras metálicas, utilizando riostras de pandeo restringido (BRB) y disipadores (SLB). *Green World Journal*, 6(1), 057–057. <https://doi.org/10.53313/gwj61057>
- Hwang, J.-S. (2002). Seismic Design of Structures with Viscous Dampers. *International Training Programs*, 124–138.
- Lopez Sánchez, B. L., Sanchez Ruales, J. A., Frías Córdova, C. F., & Villegas Suarez, E. S. (2024). Análisis estático no lineal (push over) con aisladores sísmicos en los talleres de la Universidad Técnica De Ambato. *Ciencia Digital*, 8(1), 75–98. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v8i1.2836>
- Medina, R., & Music, J. (2018). Determinación del nivel de desempeño de un edificio habitacional estructurado en base a muros de hormigón armado y diseñado según normativa chilena. *Obras y Proyectos*, 23, 63–77. <https://doi.org/10.4067/s0718-28132018000100063>
- NEC-SE-AC. (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de acero de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015* (I. M. E. Pontón, Ing. Andrés Fernando Robalino, P. D. Ing. Telmo Sánchez Grunahuer, P. D. Ing. Fabricio Yépez Moya, & Proyectos y Construcciones Hidroenergéticas PCH Cía. Ltda. (eds.); Imprenta A).

NEC-SE-DS. (2015). *Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente* (MIDUVI).

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

NTP E.030. (2016). Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. In *Diario El Peruano*.

[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)

Parra Yambay, K. G. (2023). Evaluación de una edificación de ocupación especial en hormigón armado con problemas de torsión. In *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/36887>

Pettinga, J. D., Oliver, S., & Kelly, T. E. (2013). A Design Office Approach to Supplemental Damping Using Fluid Viscous Dampers. *STEEL CONSTRUCTION NEW ZEALAND*, February, 1–10.

Proaño-Narváez, E. (2023). *Verificación estructural de los diseños de la nave industrial para el mercado Plaza Bicentenario Machala*. [UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/13021/1/18547.pdf>

Safina Melone, S. (2003). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA]. In *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <https://www.tdx.cat/handle/10803/6226>

SEAOC. (2019). SEAOC Blue Book – Seismic Design Recommendations 2019. In *Structural Engineers Association of California* (Issue September).

Şigaher, A. N., & Constantinou, M. C. (2003). Scissor-jack-damper energy dissipation system. *Earthquake Spectra*, 19(1), 133–158. <https://doi.org/10.1193/1.1540999>

Taylor Device Inc. (2020). *Viscous Damper Modeling Design Guide*.

Taylordevices inc. (2023). *Fluid viscous dampers & lock-up devices*.

Torres, P., & Matango, A. (2017). *Evaluación y Comparación del Reforzamiento de la PUCE Sede Bahía, Mediante la Utilización de Disipadores de Energía Tipo Shear-Link Respecto a un Reforzamiento con Muros de Corte* [ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL]. [https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/13405/1/Análisis estático no lineal %28Pushover%29 del cuerpo central del edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador.pdf](https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/13405/1/Análisis%20estático%20no%20lineal%20Pushover%20del%20cuerpo%20central%20del%20edificio%20de%20la%20Facultad%20de%20Medicina%20de%20la%20Universidad%20de%20El%20Salvador.pdf)



Yaguana Torres, K. P., Borja Sánchez, B. D., Guerrero Cuasapaz, D. P., & Sánchez Oñate, D. M. (2021).

Análisis de vibraciones por acción de caminado en edificios metálicos empleando pórticos resistentes a momento. *Green World Journal*, 4(2), 17. <https://doi.org/10.53313/gwj42017>

