

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE U44SE OF SEISMIC DISSIPATORS IN BUILDINGS

Neyra-Torres Jose Luis, Maestro en Administración de Negocios MBA, Campos-Vásquez Neicer, Maestro en ciencias económicas, Manturano-Chipana Rubén Kevin, Maestro en Educación Superior, Miranda- Arambulo Isaías, Calixto- Salazar Milagros, Bracamonte- Cobos Cesar.

Universidad Privada del Norte, Perú, , jose.neyra@upn.edu.pe, Neicer.campos@upn.edu.pe, ruben.manturano@upn.edu.pe, n00338263@upn.pe, n00337990@upn.pe, n00335624@upn.pe

Abstract- Currently in the market there are diverse types of energy dissipation devices that are used both for installation in new structures, and in the reinforcement of some that are at risk of causing an accident caused by a large earthquake.

The article that will be presented below has the purpose of analyzing buildings with energy dissipators, the response they generate in the face of a large-magnitude earthquake and the recommendations on seismic design to develop structural reinforcement strategies for old and damaged buildings that need it. The first part deals with the types of energy devices that are most used and efficient on the market. Subsequently, the application and performance for the design of buildings with dissipators are mentioned, in addition to the improvement obtained by placing it in deteriorated structures or on the verge of collapsing. On the other hand, the purpose of the research is to generate interest so that more people know about energy dissipators and how they can minimize damage to buildings and deteriorated structures in the event of an earthquake.

Keywords: Heatsinks; hysteresis energy dissipators; Protection with seismic dampers.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL USO DE DISIPADORES SÍSMICOS EN LAS EDIFICACIONES

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE USE OF SEISMIC DISSIPATORS IN BUILDINGS

Neyra-Torres Jose Luis, Maestro en Administración de Negocios MBA, Campos-Vásquez Neicer, Maestro en ciencias económicas, Manturano-Chipana Rubén Kevin, Maestro en Educación Superior, Miranda- Arambulo Isafas, Calixto- Salazar Milagros, Bracamonte- Cobos Cesar.

Universidad Privada del Norte, Perú, , jose.neyra@upn.edu.pe, Neicer.campos@upn.edu.pe, ruben.manturano@upn.edu.pe, n00338263@upn.pe, n00337990@upn.pe, n00335624@upn.pe

Resumen- En la actualidad en el mercado existe diferentes tipos de dispositivos de disipación de energía que son empleados tanto para la instalación en nuevas estructuras, como en el reforzamiento de algunas que se encuentran en riesgo de ocasionar algún accidente ocasionado por un sismo de gran magnitud. El artículo que se presentara a continuación tiene como propósito analizar en las edificaciones con disipadores de energía, la respuesta que generan ante un sismo de gran magnitud y las recomendaciones sobre el diseño sísmico para desarrollar estrategias de refuerzo estructural para edificaciones antiguas y dañadas que la necesiten. La primera parte trata de los tipos de dispositivos de energía que son más utilizados y eficaces en el mercado. Posteriormente, se menciona la aplicación y desempeño para el diseño de edificaciones con disipadores, además de la mejoría que se obtiene al colocarlo en estructuras deterioradas o a punto de colapsar. Por otro lado, la investigación tiene como propósito generar interés para que más personas conozcan los disipadores de energía y como pueden minimizar daños ante un sismo en edificaciones y estructuras deterioradas.

Palabras claves: Disipadores; disipadores de energía por histéresis; Protección con disipadores sísmicos.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, es conocido que el Perú es uno de los países con mayor riesgo sísmico, los cuales se producen por la interacción entre placas tectónicas. Los efectos de estas interacciones generan ondas sísmicas que se propagan a distintas direcciones, provocando el movimiento del suelo, así mismo se percibe mayor la magnitud del sismo dependiendo del lugar de epicentro. Se conoce que los movimientos sísmicos son desastres naturales, por ende, no podemos evitar que sucedan todavía, pero si prevenir que se generen grandes daños tanto de vidas humanas como materiales. Es por eso que es necesario desarrollar nuevos dispositivos de disipadores de energía y usarlos para poder minimizar el daño estructural en las edificaciones ante un movimiento sísmico y evitar su colapso. [propio]

Los eventos sísmicos son un peligro global que cobra miles de víctimas, es por esta razón la importancia de estudiar las

edificaciones que incorporen disipadores de energía. Con el fin de reducir las pérdidas humanas y materiales ante un evento sísmico, el reglamento de construcción sismorresistente establece requisitos mínimos de diseño para elementos estructurales en función del sistema estructural, los materiales usados, el desempeño sísmico esperado de la edificación y el nivel de amenaza sísmica. [19]

El proyecto sismorresistente convencional se basa en los conceptos de ductilidad, redundancia estructural y capacidad de los elementos que forman la estructura primaria de la construcción para disipar energía mediante deformaciones plásticas. Sin embargo, esto permite deformaciones plásticas en los elementos primarios de la estructura, implica admitir daños estructurales después del terremoto cuya reparación puede ser muy costosa, y conducir a la demolición del edificio. [12]

La amenaza sísmica no constituye un riesgo si no es acompañada por edificaciones vulnerables. Es indispensable diseñar y construir las edificaciones para que resistan a eventos sísmicos grandes sin colapsar y eventos sísmicos recurrentes sin

daños en la estructura y daños mínimos o nulos en los elementos no estructurales. [5]

La vulnerabilidad de edificios existentes, y las estrategias para su rehabilitación, es un problema internacional. En el caso de edificios escolares, estos suelen tener estructuras antiguas que generan peligro a los escolares, es por ello que se evalúa la factibilidad de considerar sistemas de disipación de energía pasiva como metodología de refuerzo. [22]

Históricamente en Colombia el diseño sísmico ha estado fundamentado en la resistencia y ductilidad. Aspectos de nuestra infraestructura y economía como el uso generalizado de construcciones de concreto reforzado, donde la capacidad de disipación de energía es limitada (generalmente acompañada de un nivel de daño considerable, hacen ver la necesidad de la implementación del uso de técnicas de control de respuesta sísmica con las que, sin un alto costo, se aumente la protección

de respuesta sísmica en edificaciones esenciales y la durabilidad de las estructuras, y se disminuyan tanto los daños post-sismo. [9]

Se vio la necesidad de realizar una innovación en Colombia a través de la adaptación de un dispositivo de disipación de energía de bajo costo y fácil fabricación, con el fin de usarlo en la rehabilitación sísmica de pórticos de concreto existentes. Específicamente se trata de disipadores basados en placas con ranuras que, posicionados estratégicamente en las edificaciones, concentran el daño y la disipación de energía en los mismos dispositivos disminuyendo los daños en los elementos estructurales. [17]

El Perú es un país altamente sísmico y según la clasificación mundial le corresponde 9 grados en la escala Mercalli Modificada. Cerca de 18 millones de peruanos viven en zonas sísmicas y están expuestos a las constantes amenazas de ocurrencias de sismos. Las construcciones en zonas sísmicas se incrementan a diario en nuestro país. En consecuencia, la seguridad estructural tiene un valor importante en el desarrollo nacional. La reducción de los costos, con la consecuente seguridad de las obras en zonas sísmicas es el problema central de la construcción en nuestro país. [11]

La ciudad de Huaraz se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico y la probabilidad de ocurrencia de un sismo severo como el ocurrido en el año 1970 es alta. Los disipadores sísmicos son actualmente una alternativa técnica válida, y es un tema de actualidad. Respecto al uso de disipadores sísmicos menciona que es una técnica recientemente desarrollada para diseñar edificios sismorresistentes empleando "fusibles sísmicos" mediante el cual se busca localizar las zonas de disipación de energía para controlar las fuerzas sísmicas. [23]

Actualmente en el Perú existen sistemas de disipación de energía entre los que se encuentran los disipadores de fluido viscoso. Estos dispositivos han sido utilizados en varios países tales como Chile y México para la protección sísmica de edificaciones, logrando reducir en un gran porcentaje las demandas sísmicas de éstas. En el país existe una gran cantidad de edificaciones vulnerables que podrían ser reforzadas empleando este sistema. [13]

Durante la última década los investigadores han profundizado sus esfuerzos en diversos proyectos experimentales y analíticos, donde exploran la eficiencia de nuevas configuraciones geométricas de disipadores de energía, valoran el uso de nuevos materiales para la creación de tales dispositivos o evalúan nuevas configuraciones estructurales para la colocación de los disipadores, con la finalidad de crear uno que se desempeñe de manera eficiente, pero a menor costo que los más conocidos y ampliamente estudiados. Aunque desde hace muchos años atrás se ha abordado la problemática de encontrar el lugar óptimo para la colocación de dispositivos disipadores de energía que

sean capaces de mitigar los efectos traslacionales y/o torsionales de los sismos en las estructuras, existen una serie de investigaciones experimentales, desarrollados en la última década, que presentan propuestas de nuevos sistemas de disipación, que no necesariamente se encuentran colocados sobre sistemas de contraventeo chevrón o concéntrico. [18]

En un sistema convencional, la mayor cantidad de disipación de energía se lleva a cabo a través del comportamiento inelástico del sistema estructural; sin embargo, la incursión en el intervalo inelástico provoca deformaciones excesivas, lo que puede generar daños importantes en los componentes estructurales y no estructurales. Por esta razón, se ha impulsado la inclusión de sistemas de protección sísmica en las estructuras a través del uso de disipadores energía, tales como los disipadores histeréticos, cuyo objetivo es reducir la respuesta sísmica para disminuir los daños estructurales y no estructurales. [24]

Los métodos de diseño convencionales actuales consideran un diseño aceptable siempre que la capacidad de cada miembro estructural exceda la resistencia sísmica pedir. Por eso se propone utilizar disipadores de energía para pórticos con vigas especiales resistentes, el objetivo principal de los códigos de diseño actuales es garantizar la seguridad de la vida durante un evento sísmico moderado o severo, y el daño extenso es aceptable siempre que se evita el colapso. Varios requisitos de código establecen límites a la capacidad de una estructura. [10]

Se plantea para nuestra investigación la siguiente pregunta:

- ¿Cómo influyen los disipadores de energía en edificaciones ante un movimiento sísmico?

La investigación presentada tiene como interés conocer los tipos de disipadores de energía más usados y eficaces en las estructuras, así como los efectos y ventajas que ayudan a prevenir un colapso ante un sismo de gran magnitud.

Por ello el objetivo es:

- Identificar el comportamiento de los diferentes disipadores sísmicos en las edificaciones.

Así mismo, dar a conocer la vulnerabilidad que podrían tener las estructuras al no utilizarlas, teniendo como sustento de investigación los resultados hallados en experimentos previamente realizados. Por último, dar algunas recomendaciones y prevención para su buena instalación.

II. METODOLOGÍA

Esta investigación está basada en la recopilación de información que se encuentra en artículos científicos previamente seleccionados, con el propósito de dar a conocer sobre las influencias de los disipadores de energía en edificaciones ante sismos, asimismo señalar que reforzamientos actualmente se inducen a estos. En primer lugar, se plantearon los objetivos y el problema central de esta investigación, para

ello se recopilaron gráficos estadísticos, tablas e imágenes de referencia sobre disipadores en su ubicación estructural y el procedimiento de la aplicación de ellos. Cada uno de los mencionados, mantienen orden, lógica y contiene reseñas que informan su desempeño. Finalmente, se analiza los resultados obtenidos para posteriormente dar la conclusión de nuestra investigación.

Lo que se cuestionó en primer plano para la elaboración de este artículo fue la pregunta de investigación planteada. Se recopiló dicha información de artículos que tengan concordancia con el tema escogido para esta investigación, se usaron páginas de búsqueda confiables y verificadas tales como: REDALYC (<https://www.redalyc.org/>) dentro de esta se pudieron encontrar factores de reducción de fuerzas sísmicas ,evaluaciones del coeficiente de disipación de energía, etc.; SCHOLARGOOGLE(<https://scholar.google.com/>) para disipadores histeréticos de energía sísmica y 13 artículos de igual importancia, SCIELO (<https://scielo.org/es/>) se extrajo información de revistas referente al tema señalado. SCIENCE DIRECT (<https://www.sciencedirect.com/>) permitió la búsqueda con palabras claves.

Los artículos seleccionados se basaron en criterios de búsqueda en el idioma español, publicados por países de Latinoamérica y centrado más en el hallazgo de artículos planteados en el Perú. Se realizaron ciertos criterios de inclusión para la recolección de artículos como:

- Análisis de sistemas en estructuras con disipadores de energía.
- Recomendaciones para refuerzo de edificios ante sismos.
- Estudios analíticos para comparaciones de grados de disipación de energía.
- Artículos basados en el idioma español.
- Contienen resultados demostrativos.

Se realizaron ciertos criterios de exclusión para la recolección de artículos como:

- Artículos de disipadores hidráulicos
- Investigaciones que generen controversia sobre el uso de los disipadores de energía.
- Artículos no relacionados a edificaciones o estructuras.
- Se trataron de excluir los artículos con una antigüedad mayor a 21 años.

La búsqueda de artículos en base de datos e información requerida arrojó un total de 80 artículos en distintos buscadores, tales como se presenta en las tablas 1 y 2.

Tabla 1: Búsqueda total según años 2001 al 2012

AÑO/MOTOR DE BUSQUEDA	2001	2003	2005	2006	2008	2009	2012
SCIELO				1		1	
SCHOLAR GOOGLE		1	2	1		1	2
SCIENCE DIRECT					1	1	
REDALYC	1				1		

Fuente: [Propia]

Tabla 2: Búsqueda total según años 2013 al 2021

AÑO/MOTOR DE BUSQUEDA	2013	2014	2015	2016	2017	2019	2020	2021
SCIELO		1		1	1			1
SCHOLAR GOOGLE	2		1			3	1	
SCIENCE DIRECT								
REDALYC				1				

Fuente: [Propia]

Posteriormente, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para seleccionar inicialmente 25 artículos, sin embargo, tuvimos que descartar un artículo en la parte final de la elaboración de la investigación, debido que al revisar los resultados nos dimos cuenta de que estaba incompleta la información de dicho artículo. Por ese motivo decidimos retirarlo y utilizamos los 24 artículos seleccionados para la presentación de nuestra investigación.

Finalmente, demostramos la estadística de información según el motor de búsqueda y el año publicado de los 24 artículos seleccionados.

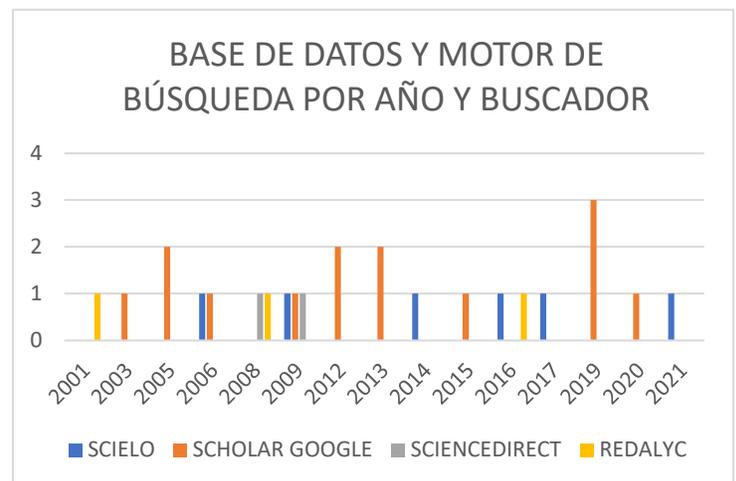


Figura 1: Base de datos y motor de búsqueda por año y buscador. Fuente: [Propia]

III. RESULTADOS

Se conoce que existe diferentes tipos de disipadores de energías en el mercado, que ayudan a controlar los movimientos que se producen ante un sismo para evitar daños o un colapso. Es por ello, que se clasifican como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 3: Concepto de algunos dispositivos de energía

Dispositivos de energía	Concepto
Control pasivo	Se resaltan por su economía y funcionalidad, basados en deformación plástica; especialmente los de acero que, debido a su homogeneidad, se convierten en un tipo de disipador de fácil caracterización mecánica.
ADAS	Formado por un conjunto de placas en forma de I dispuestas a flexión fuera de su plano donde concentran la energía por deformación plástica de la zona delgada
Histeréticos	Están constituidas por un elemento rigidizador que contiene un dispositivo disipador compuesto por un núcleo de acero, restringido lateralmente al pandeo por medio de un material de confinamiento, y un tubo metálico externo.
Viscoelásticos	Son generalmente polímeros que, al ser deformados por cortante, ofrecen capacidad de disipación de energía.
Fluidos viscosos	Se basan en la respuesta elástica de un líquido viscoso. Este dispositivo es muy eficiente, puesto que cubre un amplio rango de frecuencias, así que sirve para un mayor rango de sismos.
Los disipadores de fricción	Trabajan por la fricción generada entre dos miembros mientras uno desliza contra el otro, disipando la energía sísmica por calor.

Fuente: Propia en base al artículo [5]

Con respecto a los resultados del ensayo de laboratorio para un edificio sin reforzamiento y con reforzamiento de disipadores de energía entre distintos niveles, en la tabla 4 muestra los porcentajes de variación para cada piso de una viga del edificio.

Tabla 4: Variación Demanda vs Capacidad entre edificios reforzado y sin reforzar

Nivel	Edificio sin Reforzar		Edificio Reforzado	
	Demanda/ Capacidad M-	Demanda/ Capacidad M+	Demanda/ Capacidad M-	Demanda/ Capacidad M+
4to Piso	2.3	2.9	1.94	1.29
3er Piso	2.7	2.4	2.25	1.63
2do Piso	2.5	2.2	2.23	1.6
1er Piso	3.2	3.9	1.82	1.51

Fuente: Propia en base al artículo [13]

De acuerdo con la tabla 5, los resultados indican que los dispositivos pasivos de tipo histeréticos basados en deformación son los de mayor versatilidad y beneficio para las condiciones de propuestas.

Tabla 5: Aspectos deseables para el uso de dispositivos de control pasivo de respuesta sísmica dentro de las prácticas de diseño y construcción

Aspectos deseables	Control pasivo		
	Aislamiento basal	Disipadores histeréticos	Masa adicional
Bajo costo de instalación y puesta en obra		*	
Larga vida útil de los dispositivos	*	*	*
Bajo costo de mantenimiento	*	*	*
Bajo costo de reemplazo		*	
Baja probabilidad de reemplazo post-sismo	*		*
Bajo costo de fabricación		*	
Instalación simple en obra		*	
Reducción del daño estructural por sismo	*	*	*
Simplicidad en el uso para la rehabilitación o reforzamiento de estructuras existentes		*	*
Simplicidad en la implementación en sistemas de pórticos	*	*	*
Simplicidad en la implementación en sistemas de muros de carga		*	*
No requiere mano de obra altamente calificada para la instalación		*	
Alto control de daño en contenidos	*		*
Bajo impacto en las prácticas de construcción actuales		*	
Fácil consecución de materiales necesarios para la fabricación		*	
Baja interrupción del continuo funcionamiento de estructuras indispensables durante la instalación o reemplazo	*	*	*

Fuente: Propia en base al artículo [9]

Para obtener los resultados de la respuesta sísmica del modelo histeréticos de Ramberg-Osgood con deterioro del material, se evaluó tres modelos estructurales. Uno de ellos tiene comportamiento elástico, el otro elastoplástico y el tercero tiene un disipador de energía. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6. Se observa que, en el marco con disipador de energía, el desplazamiento máximo se redujo aproximadamente el 16 %, y el 17, 3.1 y 16.3 % para la velocidad, aceleración y la fuerza, con respecto al modelo convencional. Mientras que, respecto al modelo elastoplástico, la reducción fue de 18.3 y 14.1 para el desplazamiento y la velocidad respectivamente, sin embargo, la aceleración se incrementó 6.1 % y la fuerza fue 3 veces mayor que la del modelo elastoplástico.

Tabla 6: Valores máximos de la respuesta sísmica de los modelos estructurales estudiados.

Modelo	Desplazamiento (cm)	Velocidad (cm/s)	Aceleración (cm/s ²)	Fuerza (t)
Convencional	3.1	8.7	46.2	31.1
	-2.8	-8.8	-56.9	-28.9
Elastoplástico	3.2	8.5	36.5	7.5
	-2.9	-7.6	-51.9	-7.5
Marco con disipador de energía	2.6	7.3	55.1	26
	-2.3	-7.1	-50.2	-23.4
Disipador	2.1			16.5
	-1.9			-16.2

Fuente: [6]

El ensayo de vibraciones realizado para evaluar los daños en disipadores de energía dio como resultado que en las zonas marcadas de la Figuras 2 y 3, puede verse como al aumentar el valor de la escala del sismo aplicado, el vector de daño aumenta, es decir, la variación de energía “wavelet” de las señales respuesta de las secciones-I con daño y las secciones-I sin daño, aumenta. Se deduce, por lo tanto, que el daño se manifiesta claramente de manera cuantitativa a través de este vector de daño, a través de la variación de energía.

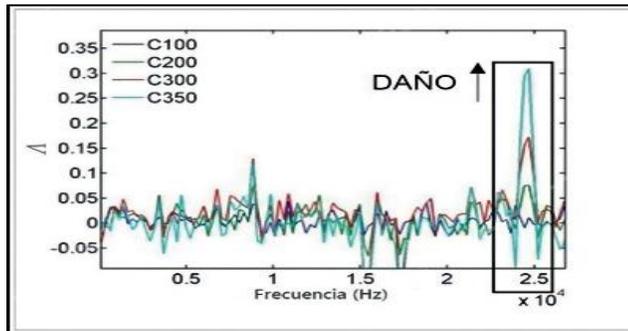


Figura 2: Vector de daño para las estructuras FD frente a la frecuencia Fuente: [16]

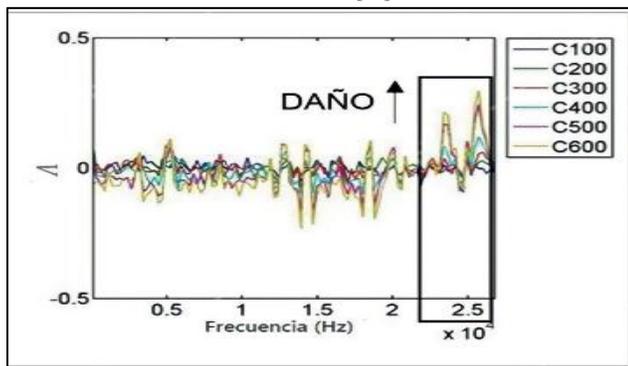


Figura 3: Vector de daño para las estructuras SD frente a la frecuencia Fuente: [16]

Después de comparar los resultados obtenidos a partir de acelerogramas sintéticos con duración de fase intensa de 10, 20 y 30 segundos, se concluyó que dicha duración tiene poca influencia en $R\mu\xi$. Se ha observado que el valor de $R\mu\xi$ no se ve afectado de manera importante por la intensidad de la excitación sísmica o por su distancia epicentral. Por lo que implica que la combinación de comportamiento plástico con disipación pasiva de energía representa una alternativa viable para resistir las acciones sísmicas y, por tanto, que es importante plantear expresiones para estimar el valor de $R\mu\xi$ para estructuras con diferentes combinaciones de μ y ξ . [1]

Los resultados obtenidos en una estructura, sin incluir los disipadores de energía, muestran que aún permanece prácticamente elásticos, después de que se han considerado los efectos de amortiguamiento adicionales proporcionados por los dispositivos disipadores. Es por ello por lo que el amortiguamiento efectivo de los disipadores de energía no excede el 30% del crítico en el modo fundamental del sistema y la máxima resistencia de todos los disipadores en un entrepiso, en la dirección del análisis, no debe exceder el 50% de la resistencia del resto de los elementos, esto, para desplazamientos asociados a movimientos con probabilidad de excedencia de 2% en 50 años. [2]. Pero al tratarse de una estructura que cuenta con disipadores de energía se debe utilizar un coeficiente de amortiguamiento de 0.27. El análisis sísmico se lo realizará mediante el espectro del sismo máximo considerado (MCE), para el cual se ha propuesto un factor de reducción a la respuesta sísmica $R=4$, se determina un coeficiente B el cual se obtiene mediante la siguiente ecuación: [21]

$$B = \left(\frac{z_e d_a}{0.05} \right)^{0.3}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos en los artículos [14], [15], [18] y [20]; pudimos llegar a la conclusión de que los parámetros estructurales recomendados para marcos de concreto no dúctiles con disipadores de energía son los que se muestran en la tabla 7:

Tabla 7: Parámetros estructurales recomendados para marcos de concreto no dúctiles con disipadores de energía.

Niveles	H/L	K_2	θ	α	β
5	0.53	0.05	40°	0.25	0.5 – 1.0
	0.63		45°		
10	1.05	0.05	40°	0.25	0.5 – 1.0
	1.25		45°		
15	1.58	0.05	40°	0.25	0.5 – 1.0
	1.88		45°		
20	2.10	0.05	40°	0.50	0.5 – 1.0
	2.50		45°		
25	2.63	0.05	40°	0.50	0.5 – 1.0
	3.13		45°		

Fuente: Propia en base de los artículos [14], [15], [18] y [20]

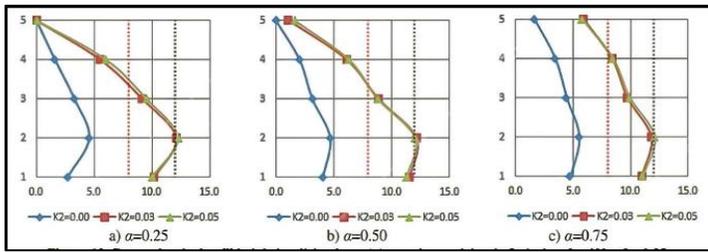


Figura 4: Demandas de ductilidad de los disipadores (μ) para los modelos de 5 niveles, $\theta=40^\circ$ y $\beta=0.25$ Fuente: [14]

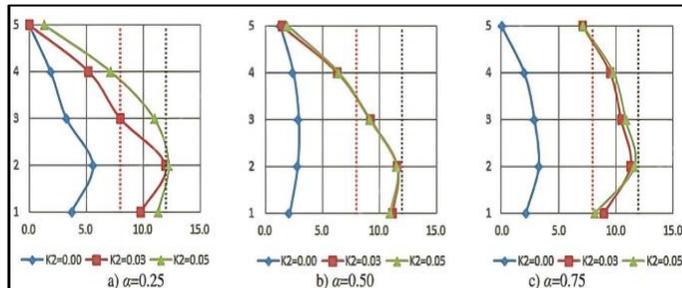


Figura 5: Demandas de ductilidad de los disipadores (μ) para los modelos de 5 niveles, $\theta=45^\circ$ y $\beta=0.25$. Fuente [14]

De acuerdo con los parámetros establecidos, se consideró que el balance de rigidez óptimo entre el sistema del contraviento y el del disipador de los marcos analizados (α) se incrementa conforme el número de niveles utilizados para los modelos, es decir, para los modelos más pequeños el balance es satisfactorio cuando el marco aporta el 75% de la rigidez total del sistema ($\alpha=0.75$), mientras que para los modelos de 20 y 25 niveles los valores “ α ” son del 25% y 50%.

Tabla 8: Cuantificación de acero de refuerzo transversal y longitudinal de elementos de concreto

Resultados de comportamiento	
Pórticos de acero	Los lineamientos de diseño pertenecientes a un sistema de resistencia sísmico, presentados en las NSR-98, son muy limitados y no toman en cuenta factores tan importantes en el comportamiento plástico, como la fluencia esperada (R_yF_y) y el endurecimiento por deformación, y no es clara la revisión de las jerarquías de plastificación en los diferentes tipos de pórticos.
Pórticos en concreto reforzados	Alcanza la fluencia con una fuerza 64 kN lo que produce un desplazamiento de fluencia igual a 4.7mm y finalmente llega a la falla con una carga de 89.6 kN, que equivale a un 38% más grande que la carga de fluencia.

Fuente: Propia en base de los artículos [15] y [18]

Por otro lado, los resultados obtenidos sobre el comportamiento de pórticos de aceros y pórticos en concreto reforzado utilizados en edificaciones.

Tabla 9: Resultados de comportamiento de pórticos de acero y pórticos en concreto reforzado en edificaciones

Niveles	Balance de Rigidez	Rfzo. Transversal (tonelada)		Rfzo. Transversal + Longitudinal (t)	Rfzo. Transversal + Longitudinal (t)	
		No Dúctil	Dúctil		(%) Peso	No Dúctil
5	$\alpha=0.25$	7.2	21.4	295.60%	70.4	84.5
	$\alpha=0.50$	9.2	27.1	293.10%	79	96.9
	$\alpha=0.75$	12.2	35.7	293.40%	92.8	116.3
10	$\alpha=0.25$	26.4	88.6	335.30%	189.6	251.8
	$\alpha=0.50$	24.7	77.6	314.30%	201.5	254.4
	$\alpha=0.75$	24.5	58.1	237.60%	190.6	224.2
15	$\alpha=0.25$	41.1	125.4	305.40%	329.7	414.1
	$\alpha=0.50$	35.9	134.9	375.80%	377.2	476.2
	$\alpha=0.75$	38.9	102.7	264.20%	428.2	492.1
20	$\alpha=0.25$	81.5	235.6	289.30%	793.9	948.1
	$\alpha=0.50$	108.2	285.1	263.50%	859.9	1036.8
	$\alpha=0.75$	117.8	329	279.40%	898.8	1110.1
25	$\alpha=0.25$	167.3	479.2	286.50%	1307.7	1619.6
	$\alpha=0.50$	183.6	483.8	263.50%	1347.2	1647.4
	$\alpha=0.75$	230.3	577.9	251.00%	1496.3	1844

Fuente: Propia en base de los artículos [8] y [3]

En la prueba sobre resistencia de los especímenes, el resultado que se obtuvo fue que para los especímenes SL-8 y -9 con longitudes de hendidura variables, las grietas aparecieron primero en tiras en el lado adyacente a la hendidura más corta. Como se discutirá en secciones posteriores, en términos de resistencia y capacidades de disipación de energía, estos dos especímenes no demostraron un desempeño superior. La Fig. 6 muestra el dispositivo dañado después de la prueba.



Figura 6: Especimen SL-8 Fuente: [7]

Finalmente, se plantearon los ensayos de la siguiente manera: los dos modelos (rígido y flexible), variando la interfaz (madera-madera y madera-acrílico), fueron excitados en el intervalo de frecuencias desde 1.33 Hz hasta 2.0 Hz. En la Figura 7 se muestra la influencia del tipo de material en la interfaz de deslizamiento, al comparar las longitudes de transición entre las interfaces madera – madera y madera –

acrílico. Los resultados obtenidos son las diferencias en las magnitudes de los deslizamientos entre los modelos rígidos y flexibles alcanzan hasta el 50% ($F = 1.56$ Hz) y la variación en el coeficiente de fricción para la misma frecuencia es de 46% en los modelos rígidos y de 37% en los flexibles.

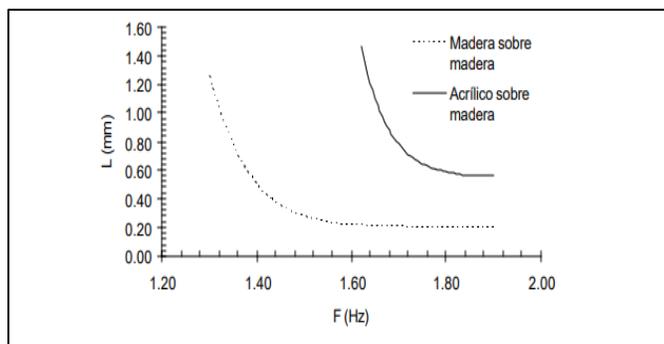


Figura 7: Variación de la longitud de transición con la frecuencia en dispositivos sismos para interfaces diferentes para un cuerpo rígido Fuente: [4]

IV. DISCUSIÓN

Según Bogart y otros el rango de frecuencias en que se presentan los desplazamientos relativos entre el modelo y la base de deslizamiento es diferente para las dos interfaces. Esto se debe a que la excitación necesaria para vencer la fricción estática es mayor en la interfaz con acrílico (es importante tener en cuenta que el acrílico a nivel microscópico presenta menores irregularidades en la superficie, pero sus fuerzas de adhesión son mayores que las de la madera y éstas a su vez dependen de la frecuencia de la excitación), lo cual conduce a que para bajas frecuencias (1.33 a 1.63 Hz) no se presente el deslizamiento del modelo. Basándonos en la Figura 6 - Artículo [4]. En el caso del artículo [9] citan a Oviedo, Midorikawa y Asari, para demostrar los análisis comparativos entre una edificación de concreto reforzado de 10 pisos sin disipadores tipo riostra con pandeo restringido y con ellos. Se llegó a demostrar un significativo daño estructural (concreto reforzado) y habría mejorado el desempeño estructural cuando las riostras son instaladas. Reportaron reducciones hasta del 60 % en desplazamiento y daño sísmico de piso, mostró una distribución en altura casi uniforme de la reducción de desplazamiento y daño sísmico, lo que sugiere una protección controlada de la estructura principal. La reducción de los desplazamientos horizontales de piso se atribuye básicamente al aumento de rigidez del sistema dado por las riostras.

En la tabla 5 (de elaboración propia basada en los artículos [8] y [3]), se obtuvo los parámetros estructurales recomendados para marcos de concreto no dúctiles con disipadores de energía entre los niveles 5 – 25 con un ángulo de inclinación de 40° y 45° grados. Según Arturo Tena y Horacio y Hernández se indica

que los únicos modelos que se comportaron de manera satisfactoria fueron los más pequeños del estudio (marcos de cinco niveles). Los otros modelos tuvieron un desempeño aceptable, pero no del todo favorable, debido a que la participación no lineal no es exclusiva de los disipadores de energía. En el artículo [8] al diseñar el sistema de resistencia sísmico de los edificios de acero para una carga sísmica menor a la crítica, (F/R), se entiende que cuando el sismo de diseño actúa plenamente en la edificación, en ella se presentan deformaciones inelásticas y plastificación de algunas secciones, es decir, la estructura deja de comportarse linealmente para presentar un comportamiento no lineal. En la Figura.1 se representa este comportamiento.

V. CONCLUSIONES

Se indagaron los resultados de varios experimentos, ensayos de laboratorio y se recopilaron en el siguiente artículo. Teniendo como objetivo tratar de mejorar los niveles de resistencia de los dispositivos sismos al ser implementado en estructuras. Algunos de estos fueron usados con cuerpos rígidos y flexibles, con su variación de interfaz en madera, madera acrílica, concreto y acero. En el diseño de los disipadores de energía con madera o madera acrílica sus ensayos dieron como resultado que la energía sísmica puede pasar a la estructura, pero mediante la distribución de masa y geometría permite una buena disipación y leve desplazamiento.

En el diseño con concreto y acero está comprobado que cuando este fluye, pierde rigidez y se mantiene estable. El uso de acero en edificaciones con disipadores sísmicos, para la mínima densidad crítica presenta deformaciones inelásticas. Formando así una edificación no lineal. Mientras que en el diseño del pórtico este rotula sus vigas y columnas, llegando el momento de que este no soporta el aumento de deformación, También entre los diferentes dispositivos de disipación de energía sísmica se pudo obtener resultados de los dispositivos pasivos de tipo histeréticos son los más versátiles, con bajo costo en instalación, mantenimiento y reemplazo. Así como reducción de daños post sismo y beneficios para su implementación en estructuras y para las personas que lo habitaran. Sin embargo, se debe tener cuidado a la hora de caracterizar sus propiedades dinámicas y mecánicas, indispensables para llevar a cabo un diseño estructural seguro. Mediante estos ensayos de los dispositivos en las edificaciones se puede tener criterios confiables para un buen diseño estructural capaz de tener buena resistencia de energía sísmica.

Algunas universidades e investigadores nacionales también han empezado a realizar ensayos de modelos de edificaciones con control de respuesta sísmica, en uno de esos estudios se pudo obtener los resultados de la respuesta sísmica del modelo histeréticos de Ramberg-Osgood con deterioro del material, se evaluó tres modelos estructurales. Por otra parte, los parámetros estructurales recomendados para marcos de concreto no

dúctiles aún quedan variables por estudiar, pero son muy necesarios utilizarlos para tener mejor eficacia y prevención ante un sismo. Por último, de acuerdo con los comportamientos de pórticos de acero, no se deberían diseñar los pórticos de acero, cualquiera que sea su configuración (PRM, PAE o PAC) con las solicitaciones halladas mediante un análisis elástico con las combinaciones de carga que incluyen la demanda sísmica, dividida por R ($E = F/R$). Se han de diseñar para las solicitaciones que liberan los elementos que plastifican, teniendo en cuenta la fluencia esperada ($R_y F_y$) y el endurecimiento por deformación. Además, en estudios con acelerogramas se pudo obtener buenos resultados y se espera que, en un futuro no muy lejano, se disponga de elementos de juicio para utilizar estos sistemas en el diseño de edificaciones.

Como punto final debemos de reflexionar sabiendo que la protección que se les está otorgando a las edificaciones es mayor, con esto se podrían evitar gastos por pérdidas humanas, daños irreparables de las estructuras o el total derrumbe y posterior reconstrucción de la edificación, tomando en cuenta que los gastos serán los mismo e incluso mayores en algunos casos y es mejor tomar precauciones ante ello.

REFERENCIAS

- [1] Arroyo Espinoza, D., & Terán Gilmore, A. (2002). FACTORES DE REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON SISTEMAS PASIVOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA. Revista de Ingeniería Sísmica, 66, 73. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61806603>
- [2] Sonia E. Ruiz Gómez, de Publicaciones Digitales. DGSCA-UNAM, C. (n.d.). Algunas Recomendaciones para el Refuerzo Sísmico de Edificios, empleando Disipadores de Energía. Unam. Mx. Retrieved June 4, 2022, from <http://www.revista.unam.mx/vol.4/num1/proyecto11/>
- [3] Altamirano, G. R. (2014). Disipadores histeréticos de energía sísmica. https://www.academia.edu/8672361/Disipadores_hister%C3%A9ticos_de_energ%C3%ADa_s%C3%ADsmica
- [4] Eduardo Botero J, Bogart Méndez U. y Miguel P. Romo O. CONSIDERACIONES SÍSMICAS SOBRE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA FRICCIÓNANTES (2005) https://www.researchgate.net/profile/Bogart-Mendez/publication/267253947_CONSIDERACIONES_SISMICAS SOBRE LOS DISIPADORES DE ENERGIA FRICCIONANTES/links/575976ce08ae414b8e43c918/CONSIDERACIONES-SISMICAS-SOBRE-LOS-DISIPADORES-DE-ENERGIA-FRICCIONANTES.pdf
- [5] Oviedo, J. A., & Duque, M. del P. (2006). SISTEMAS DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICACIONES. Revista EIA, 6, 105–120. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372006000200010&lang=es
- [6] Tomás Amateco Reyes1 y José Alberto Escobar Sánchez.(2006) https://www.researchgate.net/publication/234005847_ANALISIS_DE_SISTEMAS ESTRUCTURALES CON DISIPADORES DE ENERGIA CON DETERIORO DE RIGIDEZ RESISTENCIA Y ENDURECIMIENTO POR DEFORMACION DEL MATERIAL
- [7] Chan, R. W. K., & Albermani, F. (2008). Experimental study of steel slit damper for passive energy dissipation. Engineering Structures, 30(4), 1058–1066. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029607002830>
- [8] Valencia Clement, G., & Valencia Restrepo, D. (2008). Evaluación del coeficiente de disipación de energía, R, para algunos tipos de estructuras de acero. Ingeniería e Investigación, 28(1), 41–49. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64328106>
- [9] Oviedo, J. A., & Duque, M. D. E. L. P. (2009). DISIPADORES HISTERÉTICOS METÁLICOS COMO TÉCNICA DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICACIONES COLOMBIANAS. Revista EIA, 11, 51–63. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372009000100005
- [10] Pekcan, G., Linke, C., & Itani, A. (2009). Damage avoidance design of special truss moment frames with energy dissipating devices. Journal of Constructional Steel Research, 65(6), 1374–1384. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X08002253>
- [11] EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGÍA. (n.d.). Blogspot.Com. Retrieved June 4, 2022, from <http://librosdoctorgennervillarrealcastro.blogspot.com/2013/07/iv-congreso-regional-de-estudiantes-de.html>
- [12] Minelly, L., & Melo, R. (n.d.). DIAGNÓSTICO DE DAÑO EN DISIPADORES DE ENERGÍA HISTERÉTICOS TIPO WPD PARA EL CONTROL PASIVO EN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES MEDIANTE ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA TESIS DOCTORAL. Ugr.Es. Retrieved June 4, 2022, from https://idie.ugr.es/wp-content/uploads/2020/12/2012_Tesis_Doctoral_Liliana_Romo.pdf
- [13] Luisa Joselinne Morales Díaz, Juan José Contreras Bábaro(2012) PROTECCIÓN DE UNA EDIFICACIÓN EXISTENTE CON DISIPADORES DE ENERGÍA, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Lima. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1708/MORALES_LUISA_Y_CONTRERAS_JUAN_DISIPADORES_ENERGI_A.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [14] Arturo T. C. y Horacio N. H. (2013) Diseño sísmico de marcos no dúctiles de concreto reforzado con disipadores de energía histeréticos: definición de parámetros de diseño. https://www.researchgate.net/profile/Arturo-Tena-Colunga/publication/261835246_Diseño_sismico_de_marcos_no_ductiles_de_concreto_reforzado_con_disipadores_de_energ%C3%ADa_hister%C3%A9ticos_Definici%C3%B3n_de_parametros_de_dise%C3%B1o/links/600cd25492851c13fe321e07/Dise%C3%B1o-sismico-de-marcos-no-ductiles-de-concreto-reforzado-con-disipadores-de-energ%C3%ADa-hister%C3%A9ticos-Definici%C3%B3n-de-parametros-de-dise%C3%B1o.pdf
- [15] Horacio N. Hernández y Arturo T. Colunga (2013) PROCEDIMIENTO DE DISEÑO CONFORME A REGLAMENTO PARA MARCOS NO DÚCTILES DE CONCRETO REFORZADO CON DISIPADORES DE ENERGÍA HISTERÉTICOS. https://www.researchgate.net/profile/Arturo-Tena-Colunga/publication/260425908_Procedimiento_de_dise%C3%B1o_conforme_a_reglamento_para_marcos_no_ductiles_de_concreto_reforzado_con_disipadores_de_energ%C3%ADa_hister%C3%A9ticos/links/5fe0d7ce92851c13fead4078/Procedimiento-de-dise%C3%B1o-conforme-a-reglamento-para-marcos-no-ductiles-de-concreto-reforzado-con-disipadores-de-energ%C3%ADa-hister%C3%A9ticos.pdf
- [16] A. R. Molina, E. Suarez, A. Benavent-Climent, A. Roldán A. Gallego (2014) Ensayo de vibraciones para evaluación de daño en disipadores de energía usados en edificaciones sismorresistentes. https://idie.ugr.es/wp-content/uploads/2020/12/2014_AEND_Molina.pdf
- [17] Pimiento, J., Salas, A., & Ruiz, D. (n.d.). Desempeño sísmico de un pórtico con disipadores de energía pasivos de placas ranuradas de acero Seismic performance of frames with passive energy dissipation steel slit plates. Scielo.Cl. Retrieved June 5, 2022, from <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v29n3/art05.pdf>
- [18] Nanguillasmú Hernández, H. de J., & Tena Colunga, A. (2016). REQUISITOS MÍNIMOS DE DETALLADO DÚCTIL EN MARCOS DE

CONCRETO REFORZADO PROTEGIDOS CON DISIPADORES HISTERÉTICOS DE ENERGÍA. Revista de Ingeniería Sísmica, 95, 1–32. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000200001&lng=es&nrm=iso

[19] José M. Benjumea R., Fredy S. Sotelo M., Camilo E. Celis M. (2016) Efecto del grado de capacidad de disipación de energía sísmica seleccionado en las cantidades de obra de muros de concreto reforzado. <https://www.redalyc.org/journal/2570/257049511002/>

[20] Hernandez Ramirez, H., & Tena Colunga, A. (2018). EVALUACIÓN DEL DISEÑO SÍSMICO RESILIENTE CONFORME AL MÉTODO DE LAS FUERZAS DE MARCOS DÚCTILES DE ACERO CON DISIPADORES DE ENERGÍA HISTERÉTICOS. Revista de Ingeniería Sísmica, 98, 45. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2018000100045&lang=es

[21] Roberto A., Pedro P., Patricio P., José O., Klever P., Melisa H., ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS CON DISIPADORES DE ENERGÍA TADAS UTILIZANDO CEINCI-LAB. (n.d.). Edu.ec. Retrieved June 5, 2022, from <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/1574/1193>

[22] G. Palazzo, C. Bay, M. Guzmán, V. Roldán y F. Calderón (2019) Disipadores de energía para la rehabilitación de edificios. https://www.researchgate.net/profile/Cristian-O-Bay/publication/335225118_Disipadores_de_energia_para_la_rehabilitacion_de_edificios_escolares/links/5d5896df45851545af4c1a1a/Disipadores-de-energia-para-la-rehabilitacion-de-edificios-escolares.pdf

[23] Efectos del disipador sísmico telescópico frente al comportamiento estructural de edificaciones sociales en el distrito de Independencia Huaraz. (n.d.). Edu.pe. Retrieved June 5, 2022, from http://revistas.unasam.edu.pe/index.php/Aporte_Santiaguino/article/view/686/900

[24] Ruiz Gómez, S. E., & Orellana Ojeda, M. A. (2021). FACTORES DE AMORTIGUAMIENTO PARA ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO DE SISTEMAS CON DISIPADORES DE ENERGÍA HISTERÉTICOS. Revista de Ingeniería Sísmica, 105, 31–58. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2021000100031&lng=es&nrm=iso