

Performance Analysis of Energy Dissipators Implemented in Buildings

Neyra-Torres Jose Luis, Maestro en Administración de Negocios MBA, Campos-Vásquez Neicer, Maestro en ciencias económicas, Maturano-Chipana Rubén Kevin, Maestro en Educación Superior, Lizana-Gamarra Eduardo, Guerra-Quispe David Antonio, López-Lau Luisa Andrea.

Universidad Privada del Norte, Perú, jose.neyra@upn.edu.pe, Neicer.campos@upn.edu.pe, ruben.maturano@upn.edu.pe, n00318880@upn.pe, n00314836@upn.pe, n00315637@upn.pe.

Abstract: The influence and performance of the different types of heat sinks are analyzed and determined, according to the results on percentage reductions of maximum distortions, maximum displacements and maximum drifts, identifying the one with the best performance. In addition, based on quantitative and qualitative research, informality in the construction process is investigated, determining the average number of existing informal homes, the causes of self-construction and, above all, the enormous vulnerability to telluric movements of structures that do not comply with earthquake resistant designs.

Keywords: Seismic dampers, performance, earthquake resistant designs, informality, seismic vulnerability

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

Análisis del Desempeño de Disipadores de Energía Implementados en Edificaciones

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, Lizana-Gamarra Eduardo, Guerra-Quispe David Antonio, López-Lau Luisa Andrea.

Universidad Privada del Norte, Perú, jose.neyra@upn.edu.pe, Neicer.campos@upn.edu.pe, ruben.manturano@upn.edu.pe, n00318880@upn.pe, n00314836@upn.pe, n00315637@upn.pe.

Resumen: Se analiza y determina la influencia y el desempeño de los diferentes tipos de disipadores, de acuerdo con los resultados sobre reducciones porcentuales de máximas distorsiones, máximos desplazamientos y de máximas derivas, identificando el de mejor rendimiento. Además, a partir de la investigación cuantitativa y cualitativa se indaga sobre la informalidad en el proceso de construcción, determinando el promedio de viviendas informales existentes, las causas de la autoconstrucción y, sobre todo, la enorme vulnerabilidad frente a movimientos telúricos de las estructuras que no cumplan diseños sismorresistentes.

Palabras clave: Disipadores sísmicos, rendimiento, diseños sismoresistente, informalidad, vulnerabilidad sísmica

I. INTRODUCCIÓN

Los sismos vienen presentándose en nuestro entorno desde antes del principio de la civilización humana, debido a que son fenómenos naturales, el hombre no puede obrar en estos, pero lo que sí se puede hacer, es asegurar mejor sus edificaciones frente a estos siniestros, por esa razón, a nivel mundial, muchos de los países más desarrollados han financiado investigaciones para desarrollar tecnologías antisísmicas. El Perú, siendo uno de los países más sísmicos, tiene numerosas construcciones susceptibles a efectos sísmicos, esto se debe a que en nuestra cultura se construye por construir, mas no pensando en que nuestra vivienda deba cumplir con las medidas que nos salvaguarden en caso de un terremoto de gran escala, esto se conoce como la informalidad en la construcción.

Las construcciones informales son las más afectadas por los movimientos telúricos, ya que estas no están debidamente preparadas; sin embargo, existen métodos para prevenir las consecuencias sísmicas, aquí es donde entra a tallar la aplicación de sistemas de disipación de energía, los cuales, al ser implementados en edificaciones, disminuyen los daños estructurales, mitigan riesgos y lo más importante, salvan vidas humanas [propio].

Una edificación informal, se puede definir como una estructura sin ningún registro o licencia, que ha sido ejecutada sin asesoramiento técnico ni planeación y sin ordenamiento urbano; la cual, frente a un desastre natural, se verá afectada de manera significativa, produciendo un alto índice de mortandad y daños materiales. Siendo entre sus principales causas, la improvisación, falta de recursos económicos, autoconstrucción de viviendas, centralismo, obtención de licencia muy tedioso e ineficiente y la ausencia de planes de desarrollo urbano [1].

En la actualidad, los efectos destructivos en una estructura pueden ser mitigados mediante sistemas de protección sísmica,

dentro de este tipo de sistema tenemos los aisladores sísmicos. A través de estos se realiza la disipación de energía reduciendo de esta manera los desplazamientos de una estructura, mejorando así el comportamiento de las edificaciones, con la finalidad de evitar cualquier daño en la estructura [17].

REALIDAD PROBLEMÁTICA

Nuestro problema principal viene siendo la minúscula aplicación de disipadores sísmicos en los edificios peruanos y la insignificancia sobre su valor que le damos. Pues los disipadores no son el problema, sino que estos no se implementan en edificios, siendo esto la realidad y el problema del Perú. Pero ¿por qué no se aplican?, pues el estado sería el primer culpable, ya que no aplica medidas para el mejoramiento del sector construcción; y en segundo lugar seríamos los peruanos, debido a que no cumplimos con los recursos para edificar correctamente con algún "plan antisísmico", además de que, principalmente, estamos acostumbrados a la construcción informal, por lo tanto, consideramos a la informalidad como la causante de la casi nula presencia de disipadores en estructuras peruanas [propio].

Para observar la influencia de los disipadores, primero es necesario observar la situación actual de las edificaciones a nivel peruano, pues la realidad de nuestro país es alarmante, sólo en Lima, el 70% de las viviendas son informales, según un estudio de la Cámara Peruana de la Construcción (Capeco). A nivel nacional, esta cifra se puede elevar hasta 80%. De acuerdo con el CISMID, en las zonas periféricas de las ciudades, el nivel de informalidad en la construcción puede alcanzar incluso el 90% [2]. En "La Ciudad de los Reyes" cada año se construyen 50 mil viviendas informales, informó la Asociación de Desarrolladores Inmobiliarios del Perú (ADI) [3]. Para finalizar, de acuerdo con un estudio del Grupo de Análisis para el Desarrollo (Grade), las ciudades del Perú construyen más de 127 000 viviendas nuevas al año, de los cuales alrededor de 84 000 son informales, y sólo 43 000 son formales [4].



Figura 1: Estadística del incremento del déficit de viviendas en el Perú. Fuente: Propia basado en [10].

Tabla 1: Crecimiento de la informalidad en Lima (1993-2002)
CRECIMIENTO DE LA INFORMALIDAD URBANA EN LIMA

Año	Nº de barriadas	Población (millones)
1993	1 147	2.188M
1998	1 980	2.623M
2002	3 653	3.8M

Fuente: Propia basado en [10]

ANTECEDENTES GEOGRÁFICOS

Nuestro territorio, según el Instituto Geofísico del Perú, es un espacio geográfico catalogado con mayor potencial sísmico debido a que forma parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, región donde la Tierra libera más del 85% de la energía acumulada en su interior [5]. El proceso de convergencia y subducción de la placa de Nazca (oceánica), por debajo de la Sudamericana (continental), se desarrolla en el borde occidental del Perú. Este proceso da origen a sismos de variadas magnitudes y que ocurren a diferentes profundidades, todos asociados a la fricción de ambas placas [6].

Es un hecho que dentro de unos pocos años, Lima sufra de un terrible terremoto, de magnitudes estimadas entre 7,5 a 8 en la escala de Richter, además se daría un maremoto con hasta olas de 6 a 7 metros, producto del sismo [7]. La razón del por qué esto ocurrirá, es que la energía sísmica acumulada durante décadas en las placas, debido al silencio sísmico de 276 años, sería liberada, equivaliendo a un sismo de magnitud de 8.6 y 8.9 grados, más o menos similar a la magnitud del terremoto de 1746 [11]. En la siguiente tabla observamos más sismos de gran intensidad sucedidos nuestro país.

Tabla 2: Registros Sísmicos de Gran Intensidad

SISMOS HISTÓRICOS DE GRAN INTENSIDAD EN EL PERÚ		
AÑO	REGIÓN	CONSECUENCIAS
1586	Lima	Destrucción y daños en superficie
1604	Arequipa, Moquegua, Tacna	Daños cuantiosos
1619	La Libertad	Daños en la ciudad de Trujillo
1746	Lima	Destrucción y daños en superficie
1868	Arequipa, Moquegua, Tacna	Daños cuantiosos
1912	Piura	Daños de un radio de 200km
1946	Áncash, Cusco	Daños en la ciudad de Quiches (Áncash)
1950		Mayores daños en Cuzco
1970	Áncash	Desprendimiento de bloques de hielo
		Alud de hielo
		Avalancha de barro que sepultó Yungay y Ranrahirca, en el Callejón de Huaylas
1990	San Martín	Destrucción y mortandad
		Daños en la ciudad de Rioja y Moyobamba
1991		Procesos de licuación de suelos

Fuente: [10]

ANTECEDENTES CON DISIPADORES

En las últimas décadas se ha ido incrementando poco a poco el uso de sistemas de aislamiento, por ejemplo, en Japón la aislación sísmica se usa en edificios y viviendas, así también como en Chile, donde se ha producido resultados satisfactorios frente al sismo que ha tenido en el 2010. Algunos de los primeros aisladores en la historia fueron en el edificio “William Clayton” en Nueva Zelanda (1981), en EE. UU el primer edificio a base de aisladores elastoméricos que viene a ser el “Foothills Communities Law And Justice Center” (1984). Aquí en Latinoamérica, Chile es uno de los países más involucrados en este ámbito, por ello incorpora aisladores sísmicos en su norma chilena NCh2745-2003. Finalmente, en el Perú notamos la escasez de normas o edificios con sismo resistencia, siendo el primero en existir el centro de Información de la Facultad de Ingeniería Civil-UNI [17]. Entre las edificaciones importantes peruanas con disipadores de energía tenemos:



Figura 2: Reforzamiento con disipadores de fluido viscoso en la torre del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez. Fuente: [18]



Figura 3: Utilización de disipadores tipo fluido viscoso en el Centro Empresarial Reducto. Fuente: [18].

Los disipadores de energía proporcionan seguridad estructural entre un 50% y un 100% que es mayor a un edificio convencional, así también la aislación sísmica en estructuras no se queda atrás, ya que ensayos han mostrado que ambas metodologías son excelentes. Debido a esto, en la actualidad, hay una gran demanda a nivel mundial, en especial en aquellos países de alta sismicidad, acerca de la creación de nuevas metodologías de diseño estructural, por lo que existen muchos tipos de disipadores para que sean aplicados acordes al requerimiento que exija cada estructura [19].

Disipadores de energía

Son dispositivos que transforman la energía en calor. Se tienen categorías dentro de este grupo:

- a) Dependientes del desplazamiento
- b) Dependientes de la velocidad
- c) Dependientes del desplazamiento y la velocidad

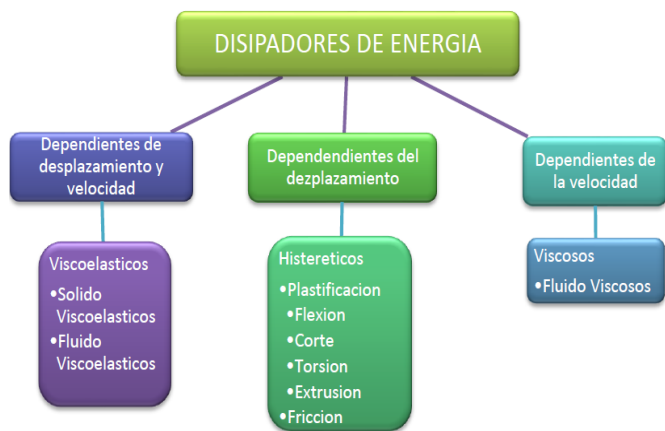


Figura 4: Tipos de disipadores de energía Fuente : [18]



Figura 5: Disipador metálico tipo ADAS. Fuente: [20]



Figura 6: Disipador tipo TADAS. Fuente: [20]



Figura 7: Disipador Histeréticos por fricción. Fuente : [20]



Figura 8: Disipador Viscoelástico. Fuente: [20]



Figura 9: Disipadores fluido-viscosos. Fuente: [20]

PROBLEMA ANALIZADO

Entre los problemas analizados, tenemos que la población rural de la sierra y selva tienden a migrar a las urbes costeñas. Esto da lugar a que las ciudades costeras presenten problemas de déficit de viviendas, ya que, al migrar las personas, estas necesitan un lugar dónde habitar, y el espacio al ser limitado, se ven obligados a asentarse en lugares poco recomendables para edificar, además de construir sus casas de manera empírica y a su propio criterio, con falta de conocimientos profesionales [8].

Además, en el Perú la gente autoconstruye con el material más barato, sin embargo, el problema será cuando ocurra un sismo fuerte debido a que sus construcciones no van a resistir y perderán su inversión, teniendo que demolerla en muchos casos, señaló la Agencia Andina. También, la reducción de costos que realizan las familias, debido a que no les alcanza el presupuesto, representa un profundo riesgo, según Carlos Zavala [9].

Entonces, si tomamos en consideración que existe centralismo en el país; donde en la capital limeña están concentradas en mayor medida las capacidades y producciones de la nación, siendo nuestro principal pilar económico, político y social, si llegase a caer Lima por un desastre sísmico, todo el Perú se desplomaría como un efecto dominó, sumergiéndonos en una profunda desgracia con cifras nunca vistas [propio].

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cómo influyen los disipadores sísmicos en la mitigación de daños estructurales producidos por sismos en viviendas informales en el Perú?

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Y para responder a nuestra pregunta planteada nos proponemos el siguiente objetivo:

- Determinar la influencia y el desempeño de los diversos disipadores sísmicos, a fin de establecer los mejores rendimientos para aplicaciones en la infraestructura de edificaciones [propio].

Por este motivo, nuestro artículo se centra en el análisis de edificios sismorresistentes. El ingeniero Otto Maldonado, lo define como una estructura dúctil que debe cumplir tres condiciones de diseño: existencia, permanencia y factibilidad. En palabras más asequibles, un edificio sismorresistente debe garantizar su equilibrio ante un posible desastre como un sismo, huracán, inundación, etc. Esto no significa que el edificio no colapse, de hecho, puede caerse, pero antes debe garantizar su estabilidad hasta que sea evacuado totalmente y con el menor peligro posible para sus ocupantes [12].

II. METODOLOGÍA

Nuestra investigación está basada en una revisión sistemática, que consiste en una recopilación de artículos relevantes vinculados al tema tratado, fue desarrollada en base a la recolección de datos provenientes del tema “La informalidad en el Perú” “Disipadores sísmicos de energía” “Edificios sismorresistentes”, que busca de manera objetiva y clara la solución ante la problemática actual de informalidad en el país, que, de cierta manera, nos hace vulnerables ante posibles riesgos sísmicos de gran magnitud que, desde años, amenaza a los países costeros del Océano Pacífico.

Por lo que, en nuestro paper, buscamos principalmente reconocer, analizar y finalmente brindar soluciones a través de la aplicación de los diferentes tipos de disipadores sísmicos en las construcciones, con el fin de mitigar los posibles futuros daños estructurales y/o arquitectónicos ocasionados por un sismo a gran escala. Para la recolección de información, se tomaron en cuenta distintos motores de búsqueda, muchos de los cuales poseen un alto nivel de influencia entre la comunidad.

PÁGINAS DE BÚSQUEDA UTILIZADAS

Las páginas de búsqueda utilizadas fueron:

SciElo Perú:	(http://www.scielo.org.pe/)
IOPSCIENCE:	(https://iopscience.iop.org/)
RefSeek:	(https://www.refseek.com/)
ResearchGate:	(https://www.researchgate.net/)
Google Académico:	(https://scholar.google.com/)
Alicia:	https://alicia.concytec.gob.pe
IGP:	https://www.gob.pe/igp
CORE:	(https://core.ac.uk/)

Debido al alto prestigio en contenidos científicos que comprenden estos buscadores, siendo en gran proporción auténticos, reales y verídicos.

CRITERIOS DE BÚSQUEDA

Para facilitar la recolección de información, se implementó ciertas ecuaciones de búsqueda, por ende, se usaron en su mayoría términos como: “Disipadores sísmicos”, “Disipadores TADAS Y ADAS” AND “sismo-resistencia”, “Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso”, “Disipadores de energía”, “Disipadores histeréticos” AND “reforzamiento edificio irregular”, “Modelamiento de los disipadores viscosos”, “Diseño sismorresistente”, “Análisis sísmico de estructuras con disipadores de energía”.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Se incluyeron artículos con una antigüedad no mayor a los 10 años de publicación, que sean de suma importancia para la realización del proyecto, dado a la relevante información.
- Se utilizaron artículos científicos, repositorios de universidades, revistas científicas, informes y trabajos de grado – postgrados provenientes de universidades y revistas de alto prestigio.
- Artículos con enfoque nacional e internacional, en inglés y español, dado a la variedad de información de origen extranjero que posee nuestro paper.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Se excluyeron artículos mayores a los 10 años de publicación, por el motivo de contención de información de datos antiguos y desactualizados.
- Artículos provenientes de Universidades y revistas de bajo prestigio o desconocidas.
- Artículos que no contengan información derivada al tema principal y se desvíen en gran porcentaje a este mismo.

PROBLEMAS PRESENTADOS

Así mismo, se tuvieron dificultades al momento de recoger datos, siendo nuestro principal problema el acceso a muchos artículos recopilados, caso de SCOPUS, pues en este, no podíamos tener mucho acceso a los artículos, además que el idioma de estos estaba en japonés. También tuvimos deficiencias en otros buscadores, debido al largo y complejo proceso de log in, aparte que la accesibilidad completa a estos es de pago, por lo que tuvimos que no considerarlos.

Finalmente, como última dificultad presentada para la elaboración de este proyecto, fue que los buscadores y motores de búsqueda propuestos por el profesor, no fueron en su mayoría útiles, ya que algunos no contenían artículos relacionados al tema, además de que los resultados arrojados fueron demasiados y no contenían información importante para aportar e incluso algunos otros no se dejaban utilizar, por lo que recurrimos a buscadores de terceros y de mayor accesibilidad.

La presente investigación se basa en el estudio de (43) diferentes artículos científicos, los cuales siguieron un regulado proceso de selección, teniendo en cuenta los criterios de inclusión y/o exclusión propuestos anteriormente. Para finalmente lograr concretar un total de (25) artículos finales los cuales muestran relación con el título, tema y objetivos de nuestra investigación, descartando los demás por exclusión. Dichos artículos seleccionados hacen referencia a la informalidad en las construcciones y nos plantea soluciones para mitigar el impacto negativo, a través de distintos disipadores sísmicos para evitar posibles movimientos telúricos que amenacen a nuestro país.

A continuación, en los siguientes gráficos se muestran la cantidad de artículos encontrados, así también, como el número de resultados encontrados por cada año en sus respectivos buscadores.

Tabla 3: Cantidad de artículos encontrados por palabra clave y/o ecuación de búsqueda.

BUSCADOR	PALABRA CLAVE	ARTÍCULOS ENCONTRADOS
SciELO Perú	A F D	217
IOPscience	B E	245
RefSeek	G H C E D A	397
ResearchGate	B E D	128
Google Académico	A F G J C D B	551
Alicia	I C D J	234
IGP	F C E H	122

Fuente: [propia]

LEYENDA:

ID	FORMULA DE BUSQUEDA
A	DISIPADORES SISMICOS
D	DISIPADORES TADAS Y ADAS AND "SISMO RESISTENCIA"
C	ANALISIS SISMICO DE UNA EDIFICACION CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO
D	DISIPADORES DE ENERGIA
E	DISIPADORES HISTERETICOS AND REFORZAMIENTO EDIFICIO IRREGULAR
F	MODELAMIENTO DE LOS DISIPADORES SISMICOS
G	DISEÑO SISMO RESISTENTE
H	ANALISIS SISMICO DE ESTRUCTURAS CON DISIPADORES DE ENERGIA ADAS Y TADAS
I	INFORMALIDAD EN LA CONSTRUCCION
J	CONSTRUCCIONES INFORMALES

Fuente: [Propia]

Tabla 4: Estadística de buscadores por año

MOTOR DE BUSQUEDA	AÑO													
	2008	2011	2012	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		
GOOGLE ACADEMICO	1							1	1	1	2	1	3	2
ALICIA					1					1				
REFSEEK		1								2		1		
CORE			1		1									
IGP					1									
RESEARCH GATE											1			
SCIELO PERU	1													
IOP SCIENCE												1		
TOTAL	2	1	1	1	2	1	1	1	1	5	2	5	2	

GOOGLE ACADEMICO	1							1	1	1	2	1	3	2
ALICIA					1					1				
REFSEEK		1								2		1		
CORE			1		1									
IGP					1									
RESEARCH GATE											1			
SCIELO PERU	1													
IOP SCIENCE												1		
TOTAL	2	1	1	1	2	1	1	1	1	5	2	5	2	

Fuente: [Propia]

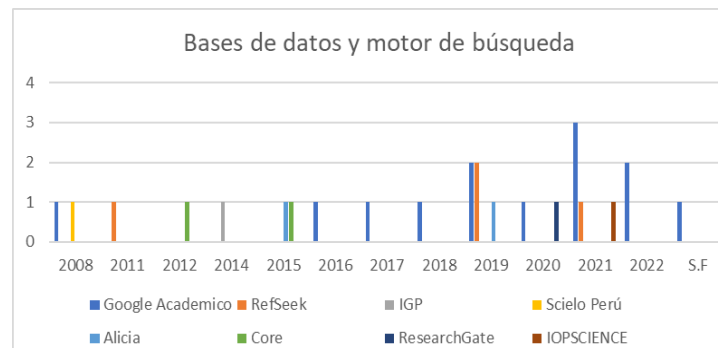


Figura 10: Estadística de búsqueda de información. fuente: [Propia]

III. RESULTADOS

En el primer estudio se hizo uso de disipadores histeréticos, donde se realizó un análisis a un edificio irregular construido de concreto armado y tiene uso destinado a oficinas y estacionamientos, con una altura de 65 metros con 16 pisos y 8 sótanos. Está ubicado en el distrito de San Isidro en el límite con el distrito de Surquillo, Lima – Perú, todo acorde al reglamento Nacional de Edificaciones E0.30. Se tomó en cuenta la configuración estructural de la edificación para identificar las irregularidades que presenta, para posteriormente equiparlo con los disipadores pasivos de energía tipo TADAS y SLB, estos disipadores son colocados sobre los arreglos Chevron [13].

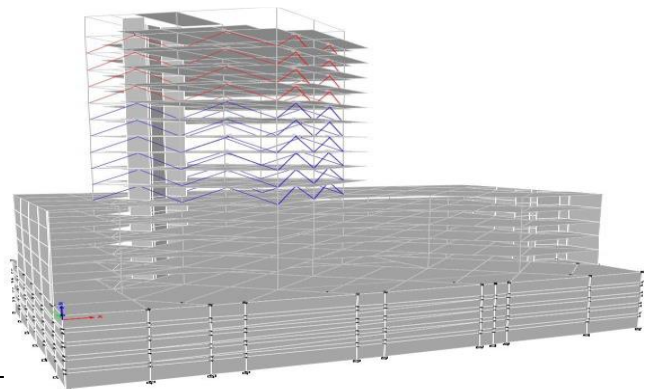


Figura 11: Modelo estructural reforzado con disipadores (TADAS y SLB). Fuente: [13]

Además, se realizó el análisis tiempo historia de la edificación irregular con la inclusión de disipadores de energía, para ello se considera tres registros sísmicos, el de Lima del 17 de octubre de 1966, de Áncash del 31 de mayo de 1970 y de Lima del 03 de octubre de 1974 [13].

Los resultados arrojaron que los sistemas de disipación SLB y TADAS reducen en promedio un 55% y 40%, respectivamente, los desplazamientos relativos máximos (distorsiones o derivas) en las zonas de reforzamiento. A continuación, las tablas (5) y (6) muestran un resumen de análisis comparativo sobre las reducciones porcentuales de las máximas distorsiones y máximos desplazamientos [13].

Tabla 5: Resumen del análisis comparativo sobre las reducciones porcentuales de máximas distorsiones

Sismo	Disipador SLB		Disipador TADAS	
	Dir. X	Dir. Y	Dir. X	Dir. Y
1966	53%	60%	37%	41%
1970	57%	54%	39%	40%
1974	54%	51%	36%	40%

Fuente: propia basado en [13]

Tabla 6: Resumen de reducción de porcentajes de máximos desplazamientos

	Sismo 1966		Sismo 1970		Sismo 1974	
	Dir. X	Dir. Y	Dir. X	Dir. Y	Dir. X	Dir. Y
Sin Disipadores	2156.36	1992.91	1603.20	1757.03	1756.77	1686.38
Con SLB	2602.49	2471.77	2335.27	1797.66	2006.72	1732.20
Con TADAS	2227.81	2347.84	1936.85	1794.67	2022.03	1498.68
%SLB	21%	24%	46%	2%	14%	3%
%TADAS	3%	18%	21%	2%	15%	-11%

Fuente: [13]

Por otro lado, en cuanto a disipadores de fluido viscoso, se realiza un estudio de una estructura aporticada de 5 pisos, hecho de concreto armado, donde al edificio se le someterá a tres configuraciones de disipador viscoso (chevron, diagonal y doble diagonal). La estructura está aislada de cualquier otra estructura vecina, ubicado en la ciudad de Lima sobre suelo muy rígido. La altura del primer piso será de 3.2 m y en los siguientes pisos será de 2.9 m, con lo cual la altura total, de la edificación será de 14.8 m. Además, se empleará concreto con resistencia a la compresión a los 28 días $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ [14]. Para obtener los resultados del edificio en estudio se aplicó el análisis tiempo historia donde se le somete bajo tres acelerogramas de sismos peruanos ocurridos en Lima 1966, Áncash 1970 y Lima 1974 [14].

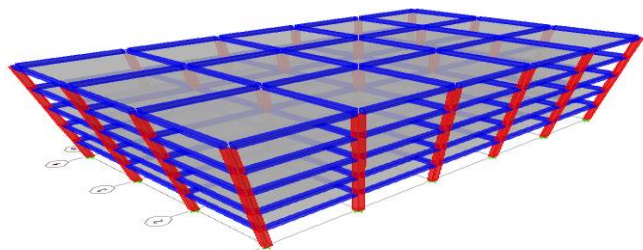


Figura 12: Edificio aporticado ideal de 5 pisos de concreto armado Fuente: [14]

En el artículo se afirma que la configuración más eficiente es chevron, debido a que sus coeficientes de amortiguamiento son menores, generando un mismo amortiguamiento efectivo en todas las configuraciones. Así como también, nos da a conocer que la configuración menos eficiente es doble diagonal y se debería a los mayores valores de coeficientes de amortiguamiento. Además, se concluye que en los tres casos disminuyeron las derivas máximas de entrepiso y mejoraron la regularidad torsional en todos los pisos para ambas direcciones y menciona que cuanto mayor sea la eficiencia de la configuración, se necesitará un menor valor de coeficiente de amortiguamiento del disipador [14].

Tabla 7: Resultados generales de análisis de respuesta espectral con disipadores

Parámetro	% Reducción promedio	% Reducción máx.	Caso Reducción máx.
Desplazamiento máx. azotea en X	23.4	23.7	Doble Diagonal
Desplazamiento máx. azotea en Y	34.9	35.1	Doble Diagonal/Chevron
Cortante basal en X	21.6	21.9	Doble Diagonal
Cortante basal en Y	30.1	30.3	Doble Diagonal
Momento volcante en X	22.6	22.8	Doble Diagonal
Momento volcante en Y	32.9	33.2	Doble Diagonal
Torsor en la base en X	22.7	23.0	Doble Diagonal
Torsor en la base en Y	31.3	31.5	Doble Diagonal

Fuente: [14]

Tabla 8: Porcentajes de reducción de desplazamientos obtenidas en la estructura con disipadores

	SISMO 1966		SISMO 1970		SISMO 1974	
	Dir. X	Dir. Y	Dir. X	Dir. Y	Dir. X	Dir. Y
FLUIDO VISCOSO	31%	38%	28%	37%	28%	33%

Fuente: [14]

En otro caso, un estudio ecuatoriano donde emplean disipadores de energía tipo ADAS o TADAS, nos presenta un análisis sísmico, de una estructura ideal de cuatro pisos de hormigón armado, simétrica, que presenta derivas de piso superiores a las permitidas por las normativas sísmicas, por lo que ha sido reforzada con disipadores de energía ADAS (Amortiguación y rigidez añadidas) /TADAS (Placa triangular, amortiguación y rigidez añadidas). Se ha desarrollado el estudio para el caso de que estos disipadores se encuentren sobre un contraviento Chevron, el mismo que ha sido modelado de dos formas, la primera la simplificada como una diagonal equivalente y la segunda modelando al disipador como un elemento más de la estructura [15].

Este análisis aplicó el método de superposición modal para hallar las respuestas máximas probables y se empleó el criterio de combinación modal del CQC (Combinación cuadrática completa). Los desplazamientos en cada uno de los pisos y la deriva de pisos se presentan en la tabla B1; los cortantes de piso, en el centro de masas se indican en la segunda columna de la tabla B.2 [15].

Tabla B.1 Resultados de los desplazamientos elásticos e inelásticos de la estructura sin disipadores

Piso	q elástico [m]	q inelástico [m]	q relativo [m]	Y
4	0.3106	0.3106	0.0648	0.0216
3	0.2458	0.2458	0.0881	0.0294
2	0.1577	0.1577	0.0985	0.0328
1	0.0592	0.0592	0.0592	0.0197

Tabla B.2 Resultados de los cortantes de demanda y de capacidad en cada piso

Piso	V _{DEM} [T]	V _{CAP} [T]	V [T]
4	17.8457	16.590	1.256
3	22.5724	16.590	5.983
2	27.4043	16.590	10.815
1	33.3531	16.590	16.763

Fuente: [15]

Como se puede observar, en la última columna de la tabla B.1, las derivas superan lo permitido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2014) que es del 2%. Por otra parte, en la tabla B.2, se aprecia que el cortante (Demanda sísmica) son mayores que la capacidad; en la última columna se indica la diferencia entre la demanda y capacidad que debe ser absorbida mediante la colocación de disipadores de energía sobre contravientos Chevron. En la siguiente figura, se aprecia la estructura reforzada con disipadores [15].

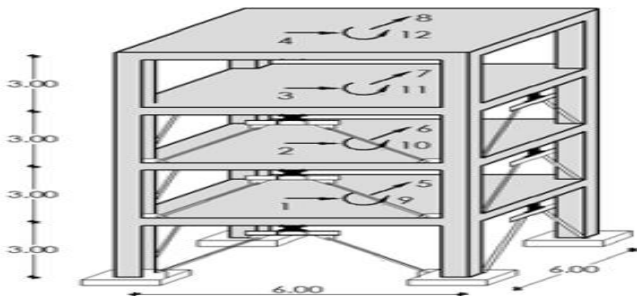


Figura 13: Reforzamiento de la estructura con disipadores en los 3 primeros pisos. Fuente: [15]

En otra investigación, se estudia la posibilidad de incorporación de disipadores del tipo viscoso VWD y las reducciones de esfuerzos obtenibles, a través del análisis del mejoramiento sismo resistente de una torre de grandes dimensiones a partir de la inclusión de dispositivos mecánicos en el seno de su estructura. La torre contará con 52 plantas y 120.000 m² en 192 metros de altura, 2 helipuertos y 7 pisos subterráneos, la cual es sometida a esfuerzos sísmicos con un análisis tiempo-historia con los sismos de las ciudades chilenas de Llo Lleo (2010) y Melipilla (1985) [16].

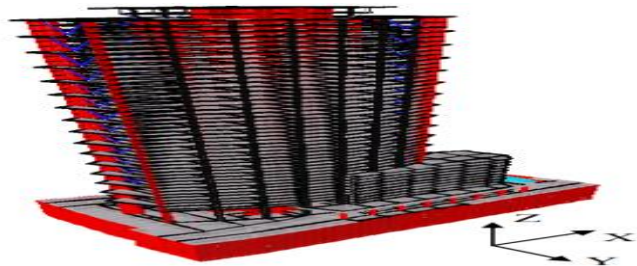


Figura 14: Vista del modelo del edificio torre estudiado. Fuente: [16]

El diseño estructural del edificio prevé 25 cruces de reagudización con forma de X construidas en tubo estructural en las fachadas izquierda y derecha del modelo mostrado (plano YZ), conectando las plantas del edificio de a 3 pisos en altura. La posibilidad de inclusión de dispositivos se encuentra limitada por la arquitectura y el grado de avance del proyecto. Los disipadores fueron instalados de forma tradicional, mediante la colocación de diagonales desde los pisos superiores que proveen fuerzas cortantes. Además, se contempla el armado de una estructura en forma de “V”, que será usado para el soporte de los disipadores tipo “chevron brace”, como se presenta en la figura 17 [16].

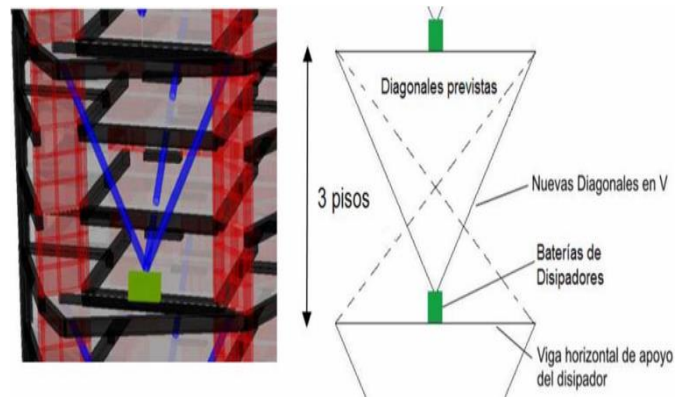


Figura 15: Posición de batería de disipadores. Fuente: [16]

Se colocaron 6 módulos disipadores en paralelo por sobre cielo de Piso 16 (CP16) y CP19 y baterías de 2 VWD por sobre los CP22, CP25, CP28, CP31, CP34, CP37, CP40, CP43, CP46 y CP49 en ambos planos laterales YZ. Para lograr disipación en la dirección X se procede en forma similar colocando baterías de disipadores similares en la misma ubicación, pero en el plano XZ y con la ayuda de una diagonal contenida en ese plano. El aumento promedio de amortiguamiento modal de los primeros 30 modos fue de 4.5% de acuerdo con los cálculos lineales [16]. Se obtiene que para aumentar la capacidad de disipación es posible armar baterías de disipadores consistentes en varios módulos disipadores en paralelo, independientemente del tipo, el consumo de energía adicional en los dispositivos agregados reduce la respuesta estructural, los desplazamientos y el drift de entrepiso, teniendo en cuenta que los VWD presentan una mínima componente de resistencia en fase con los desplazamientos, siendo conveniente utilizar un esquema de disipación VWD, mejorando el comportamiento sísmico del edificio considerando los excelentes niveles de reducción de esfuerzos, distorsiones y aceleraciones [16].

En base de los registros sísmicos de Llo Lleo y Melipilla, algunos resultados obtenidos fueron, el porcentaje de fuerzas cortantes de piso según las direcciones X e Y, presentándose valores crecientes en altura de la reducción de fuerzas de hasta 40-60 %. Además, se observan reducciones de 20-40% de drift y una eliminación de los picos máximos en altura del edificio del sistema sin disipación [16].

Tabla 9: Reducciones de aceleraciones máximas en azotea obtenidas para cada registro sísmico

SISMO LLO LLEO		SISMO MELIPILLA	
Dir. X	Dir. Y	Dir. X	Dir. Y
24%	67%	37%	25%

Fuente: Propia basada en [16]

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Llegados hasta estas instancias, nuestro interés se enfocó en determinar los desempeños individuales de los distintos tipos de disipadores sísmicos tratados anteriormente, para posteriormente comparar sus resultados para obtener los mejores rendimientos que garantizarían un comportamiento óptimo en edificios a la hora de movimientos telúricos. Entre los disipadores tratados tenemos: Histeréticos (SLB y Tadas), de fluido viscoso, así también como, disipadores tipo ADAS o Tadas y amortiguadores viscosos – Viscous Wall Damper. Podemos observar que los estudios de [13] y [14] coinciden en el análisis tiempo historia, por lo cual usaron los mismos acelerogramas de los terremotos de 1966, 1970 y 1974, los cuales los comparamos en la siguiente tabla [propio].

Tabla 10: Comparación de 3 disipadores con las reducciones de porcentajes de máximos desplazamientos

Disipadores	SISMO 1966		SISMO 1970		SISMO 1974	
	Dir. X	Dir. Y	Dir. X	Dir. Y	Dir. X	Dir. Y
SLB	21%	24%	46%	2%	14%	3%
TADAS	3%	18%	21%	2%	15%	-11%
FLUIDO VISCOSO	31%	38%	28%	37%	28%	33%

Fuente: Propia basado en [13] y [14]

Notamos que el disipador que presenta un mejor desempeño en las reducciones de máximos desplazamientos es el de fluido viscoso, ya que presenta los mayores porcentajes en los tres sismos. En contraste, el que peor desempeño tuvo es el de TADAS teniendo bajos porcentajes de reducción. [propio]. Podemos dilucidar de [15] y [16] que los amortiguadores viscosos (VWD) logran reducir de mejor forma las derivas estructurales, en contraste de los disipadores tipo ADAS o TADAS, los cuales tienen una reducción mayor a la normativa ecuatoriana (2%) a comparación de la normativa peruana E030 (7%), donde podría considerarse dicha aplicación. No obstante, recomendamos la implementación de amortiguadores viscosos frente a los tipos ADAS o TADAS, debido a la eficiencia obtenida en sus resultados [propio]. Según Aguirre y Vidal, implementaron disipadores histeréticos SLB en dos hospitales, logrando una disipación entre 29.09%-34.56% y en el hospital ILAVE entre 35.44% - 43.77% de todos los bloques que lo componen. Además, el costo aproximado con el uso de ratios para el hospital INEN con disipadores SLB es de S/1.198.050 soles y en la estructura del hospital ILAVE es de S/2.209.820 soles, lo cual representa, aproximadamente, un

monto 50% menor a favor de los SLB en relación con los aisladores [21].

En el artículo de Mario Narváez, los amortiguadores de fluido viscoso disipan alrededor de las $\frac{3}{4}$ partes de energía, en comparación a los metálicos que disipan solamente 1/3 aproximadamente. Además, recomienda que para estructuras de presupuesto limitado, la utilización de disipadores metálicos ADAS resulta ser una alternativa atractiva para la protección de edificaciones. En este estudio se demostró un ahorro económico de \$ 216 273,60 entre la aplicación de los disipadores metálicos (ADAS) y los DFV. Aunque si bien es cierto, la toma de decisión en la utilización de cada tipo de disipador dependerá del proyectista en el nivel de daño que desease obtener [22]. En cuanto a costos, [21] afirma que el disipador Histerético más económico es el de tipo SLB, en contraste [22] difiere estableciendo que los disipadores metálicos tipo ADAS resulta más solventable económicamente que uno de tipo fluido viscoso. Sin embargo, planteamos que, si tenemos que optar por uno de los dos, es mejor la implementación del disipador SLB, debido a su mejor desempeño antisísmico frente a disipadores tipo ADAS o TADAS, tal como afirma Jesús Heinz [propio]. En la siguiente tabla, se comparan ahorros de 2 estudios, en el primero se usó el costo del hospital ILAVE, y en el otro se comparan los costos entre el disipador de fluido viscoso y ADAS implementados en una misma estructura [propio].

Tabla 11: Ahorro económico en diferentes edificaciones aplicadas con disipadores sísmicos

Disipador sísmico	En estudio 21 (Hospital ILAVE)		En estudio 22 (estructura aporticada)	
	Con aislamiento sísmico	Con SLB	DFV	ADAS
Costos (soles)	4 689 945	2 209 820	3 799 197	3 005 381
Ahorro	2 480 125 (50% aprox.)		793 816 (21% aprox.)	

Fuente: Propia basado en [21] y [22]

Anthony Patrick y Príncipe Quiñones verificaron el grado que disminuyen las derivas de entrepiso de una edificación convencional al incorporar disipadores de fluido viscoso. En cuanto a disipación sísmica, el estudio arroja que, con disipadores de fluido viscoso, se consiguió un promedio máximo de disipación sísmica del 61,41% en la dirección X. Además, para la dirección Y se obtiene un promedio máximo del 66,88% [23].

Según Guevara y Torres, el uso de amortiguadores fluido-viscosos Lineales o No lineales reduce los desplazamientos de piso en un rango del 35 a 40%, siendo esta reducción similar en ambos ejes X e Y. Además, el porcentaje de reducción de derivas de entrepiso es ligeramente mayor con el uso de amortiguadores no lineales. Asimismo, recalca que la participación en la disipación de energía de los amortiguadores lineales y no lineales es similar. Para el caso de dispositivos lineales esta disipación es en promedio 79% y en los no lineales de 80%, debido a la gran cantidad de dispositivos, 56 en total, y a la esbeltez de la estructura. Las fuerzas en los dispositivos

lineales presentan una dispersión mucho mayor a las que presentan los dispositivos no lineales. [24]
 Pranita Tamang y Guru Prasad Sharm comparten en su estudio el modelo con disipador de fluido viscoso, donde este puede minimizar el desplazamiento en un 64%, 53%, 42%, 31% y 18% en los entrepisos de la estructura respectivamente y compara con el modelo sin disipadores de fluido viscoso. [25]
 En la siguiente figura se puede apreciar los porcentajes de disipación de energía en diferentes estudios, donde en cada uno aplicaron disipadores histeréticos, disipadores de fluido viscoso o amortiguadores de fluido viscoso [propio].

PORCENTAJES DE DISIPACION DE ENERGIA EN DISTINTOS ESTUDIOS

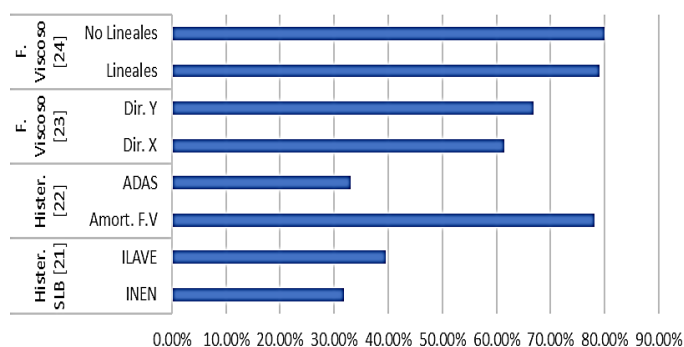


Figura 16: Comparación en porcentajes de disipación de energía. Fuente: Propia basada en [21], [22], [23] y [24]

Intepretando, se infiere que los disipadores o amortiguadores de fluido viscoso fueron más eficientes que los histeréticos, consiguiendo más porcentaje de disipación de energía en sus respectivas estructuras [propio].
 Por otra parte, recopilamos las máximas reducciones de desplazamientos obtenidas en distintos estudios, en donde fueron usados distintos disipadores [propio].

Porcentajes de Máximas Reducciones de Desplazamientos

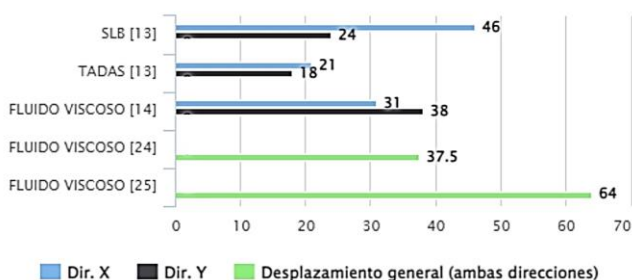


Figura 17: Comparación de máximas reducciones de desplazamientos. Fuente: Propia basada en [13], [14], [24] y [25]

Por lo tanto podemos afirmar que, nuevamente los dispositivos con fluido viscoso se mantienen superiores en cuanto al resto

de dispositivos, porque logran reducir más, eficientemente, los desplazamientos [propio].

V. CONCLUSIONES

Los mejores resultados de disipación de energía sísmica (en general) se consiguieron con los disipadores o amortiguadores funcionales fluido viscoso, debido a sus altos porcentajes de disipación en las estructuras concernientes a distintos estudios analizados [propio].

Respecto a las máximas reducciones de desplazamientos se identificó que el disipador de fluido viscoso presenta un promedio de mayor porcentaje de reducción, demostrando que dicho disipador presenta un mejor y eficaz desempeño frente a los otros disipadores en estudio. Además, se observó que como segunda opción se encuentra el disipador SLB, con un rendimiento aceptable, en comparación con el desempeño inferior mostrado por el disipador TADAS [propio].

Se rescata que los disipadores más solventables económicamente son el SLB en cuanto a disipadores histeréticos. En cuanto a metálicos, el ADAS resulta más económico que una protección con equipos de fluido viscoso. A opinión nuestra, convendría una implementación con SLB frente a cualquier metálico, debido a sus eficientes desempeños [propio].

Resulta más eficiente implementar disipadores sísmicos en plena construcción de la obra, ya que así se permite una mejor estructuración y distribución de espacios, así como una vista mucho más estética. Todo con el fin de generar una obra segura y que se pueda aprovechar al máximo, gracias a una buena planeación con equipos disipadores desde un principio [propio]. El uso de acelerogramas a la hora de comprobar la eficacia de las estructuras sismorresistentes es de suma importancia, por lo que es recomendable aplicar mínimamente 5 diferentes acelerogramas, preferiblemente de sismos anteriores ocurridos en el historial de la region [propio].

Recomendamos que para reforzamiento de edificaciones de gran envergadura, principalmente en su altura, se apliquen disipadores de tipo SLB o de fluido viscoso, debido a que mientras más grande sea el edificio, más eficiente tendrá que ser su protección. Así también, para estructuras no muy altas (no superior a 4 pisos) se implemente disipación metálica con ADAS o TADAS, porque para esos casos las cargas de estas construcciones no son muy pesadas [propio].

REFERENCIAS

- [1] Jiménez Silva, M. A. (2020). Las licencias de edificación y las construcciones informales en la zona del quinto territorio en Villa el Salvador 2020. ACTA JURIDICA PERUANA (2021) Vol. 4 Núm. 2. Recuperado de: <http://revistas.autonoma.edu.pe/index.php/AJP/article/view/288/252>
- [2] Idencity (2018). El alto riesgo de las viviendas informales en Perú. Recuperado de: <https://www.idencityconsulting.com/viviendas-informales-en-el-peru/#:~:text=El%20alto%20riesgo%20de%20las%20viviendas%20informales%20en%20Per%C3%BA&text=Las%20cifras%20son%20alarmantes%20e,se%20puede%20elevar%20hasta%2080%25>

- [3] Asociación de Desarrolladores Inmobiliarios (23 mayo de 2019). ADI: Se construyen unas 50 mil viviendas informales en Lima todos los años. Recuperado de: <https://adiperu.pe/noticias/adi-se-construyen-unas-50-mil-viviendas-informales-en-lima-todos-los-anos/>
- [4] COSTOS (2021). Cada año se construyen más de 84 000 hogares informales en el país. Revista Costos: Revista especializada para la construcción. Recuperado de: <https://noticias.costosperu.com/cada-ano-se-construyen-mas-de-84-000-hogares-informales-en-el-pais/>
- [5] Salazar, B. (2021). ¿Estamos preparados para afrontar un sismo en el Perú? Universidad de Piura. Recuperado de: <https://www.udep.edu.pe/hoy/2021/07/estamos-preparados-para-afrontar-un-sismo-en-el-peru/>
- [6] Tavera, H. (2014). Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú. Instituto Geofísico del Perú. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/777>
- [7] Morales-Soto, N. y Zavala, C. (2008). Terremotos en el litoral central del Perú: ¿podría ser Lima el escenario de un futuro desastre? Rev. peru. med. exp. salud publica v.25 n.2, Lima. Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342008000200011
- [8] Luna Laucata, J. E. (2013). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la ciudad de Trujillo*. [Tesis para optar el Título de INGENIERO CIVIL, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ]. Recuperado de: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/4967/LAUCATA_JOHAN_ANALISIS_VULNERABILIDAD_SISMICA_VIVIENDAS_INFORMALES_CIUADAD_TRUJILLO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [9] CONSTRUIR (2021). Ocho de cada 10 viviendas en el Perú es informal y vulnerable a sismos de gran intensidad. Revista Construir: Revista internacional especializada en la construcción. Recuperado de: <http://construir.com.pe/ocho-de-cada-10-viviendas-en-el-peru-es-informal-y-vulnerable-a-sismos-de-gran-intensidad/>
- [10] Calderón Cockburn, J. (2019). El Estado y la informalidad urbana. Perú en el siglo XXI. PLURIVERSIDAD, 3(3), 45–64. Recuperado de: <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/pluriversidad/article/view/2234>
- [11] Palmieri, F. (2017). Informe PUNTOEDU sobre riesgo sísmico en Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de: <https://puntoedu.pucp.edu.pe/noticia/informe-puntoedu-sobre-riesgo-sismico-en-lima/>
- [12] Vizuete, V. (2011). La informalidad en la construcción es el mayor riesgo en un terremoto. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Recuperado de: <https://www.igepe.edu.ec/servicios/noticias/381-la-informalidad-en-la-construccion-es-el-mayor-riesgo-en-un-terremoto>
- [13] Paul, H. y Paucarpura, J. (2019). *Análisis estructural y reforzamiento de un edificio irregular con disipadores histeréticos*. [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil]. Repositorio Institucional – UNI. Recuperado de: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/20247>
- [14] Fuentes Sadowski, J. C. (2015). *Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Recuperado de: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6091/FUENTES_JUAN_ANALISIS_SISMICO_EDIFICACION_DISIPADORES_FLUIDO_VISCOSO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [15] Aguiar, R., Rodríguez, M., y Mora, D. (2016). Análisis sísmico de estructuras con disipadores de energía ADAS o TADAS. Monografía CIMNE IS-75. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Aguiar/publication/303256522_Analisis_Sismico_de_Estructuras_con_Disipadores_de_Energia_ADAS_o_TADAS/links/573a1e1108ae9f741b2ca120/Analisis-Sismico-de-Estructuras-con-Disipadores-de-Energia-ADAS-o-TADAS.pdf
- [16] Stuardi, J. E., Massa, J. C., y Giró, J. F. (2008). Eficiencia de disipadores sísmicos de pared basados en amortiguadores viscosos - viscous wall damper. Mecánica Computacional Vol XXVII, Núm. 26. Recuperado de: <http://venus.santafe-conicet.gov.ar/ojs/index.php/mc/article/view/1542>
- [17] Bustamante Nuñez, A. (2019). Propuesta de aisladores sísmicos para la disipación de energía en el desempeño estructural por desplazamiento en edificaciones-Unach-Chota. [Tesis para optar el grado académico de maestro en ingeniería civil con mención en estructuras, Escuela de Posgrado, Universidad César Vallejo]. Chiclayo-Perú. Recuperado de: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/30914/Bus_tamante_NA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [18] Corpus Villalba, J. J. (2015). Análisis sísmico comparativo entre un sistema dual y el sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso para un edificio en el distrito de Víctor Larco Herrera aplicando ETABS 2013. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo-La Libertad]. Recuperado de: <https://core.ac.uk/reader/389479426>
- [19] Cedeño Pazmiño, M. (2020). Disipadores de energía como respuesta sísmica en edificaciones. Universidad Técnica de Manabí. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/343322913_DISIPADORES_DE_ENERGIA_COMO_RESPUESTA_SISMICA_EN_EDIFICACIONES
- [20] Burgos Namuche, M. (s.f.). Disipadores de energía fluido viscoso. Recuperado de: <http://mabieperu.com/publicaciones/publicacion04.pdf>
- [21] Aguirre Herrera, S. A. y Vidal Barazorda, E. A. (2022). Propuesta de diseño de dos hospitales, en zona sísmica tres y cuatro, usando disipadores. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima-Perú]. Recuperado de: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/659464>
- [22] Narváez Espinoza, M. E. (2019). Análisis comparativo técnico-económico de una edificación de 12 pisos, empleando amortiguadores de fluido viscoso y disipadores histeréticos. [Tesis para optar el grado académico de magíster en ingeniería civil con mención en estructuras sismorresistentes, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Recuperado de: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/16396/NARVAEZ_ESPINOZA_MARIO_ANALISIS_COMPARATIVO_TECNICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [23] Príncipe Quiñones, A. P. (2020). Influencia de los disipadores de fluido viscoso en el comportamiento sísmico de una edificación aporticada, Trujillo 2020. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Privada del Norte, Trujillo - Perú]. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24320>
- [24] Guevara Huatuco, D. N. y Torres Arias, P. O. (2012). Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal. [Tesis para optar el título de ingeniero civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Recuperado de: <https://core.ac.uk/reader/196540421>
- [25] Pranita Tamang y Guru Prasad Sharma (2021). Comparison between seismic performance of G+5 building with and without Fluid Viscous Dampers. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 796, Community Based Research and Innovations in Civil Engineering 18-19 March 2021, Jaipur, India. Recuperado de: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/796/1/012003>