




Obtaining floor response spectra in a reinforced concrete building implemented with viscous damper: application to the seismic analysis of a storage tank

Marines Renee De la Cruz Sanchez, Br. , Mayte Llamccaya Calla Br. , Vlavec Toledo Espinoza, MSc. 
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, U201810957@upc.edu.pe, U201811042@upc.edu.pe, pccivtol@upc.edu.pe

Abstract—Faced with a seismic event, structural and non-structural elements (ENE) are prone to damage that destroys them, totally or partially. For this reason, its protection is essential, even more so, in buildings destined for health centers, which are the refuge and first place of aid in the event of a catastrophic event, such as earthquakes. Therefore, the use of protective systems such as fluid viscous dampers (FVD) is a good option for seismic energy dissipation and performance improvement. Even so, ENE such as storage tanks, partitions, low ceilings, and hanging pipes, require an anchoring system that allows them to remain stable and not be a danger. For this reason, in this article, an eight-level reinforced concrete structure implemented with an additional dissipation system employing fluid-viscous dampers is analyzed and its ability to reduce displacements and accelerations during telluric activities is analyzed, the main objective is to raise the construction of floor spectra, which are obtained after calculating the response histories of each level through an FNA response history analysis. The application of the floor spectra is done using a spectral response analysis to obtain the anchoring forces in a storage tank. In this work, the effect of the stiffness of the liquid in the tank is not considered. The analyzes carried out in the building show a maximum decrease in accelerations, on the eighth floor, by 78% in the X and Y axes, after adding the FVDs.

On the other hand, it was evident that the anchoring forces required by the storage tanks increase the higher the floor level. Likewise, on the X-axis, the maximum decrease in anchoring forces was 62%, corresponding to the tank located on the roof. While on the Y axis, also on the roof, the greatest reduction in the anchoring force is achieved; this reduction occurred in 63.1%. In both instances, the use of the FVD system reduced forces.

Keywords—*story spectrum, fluid-viscous damper, Fast Nonlinear Analysis (FNA), seismic performance, anchor force, non-structural elements, accelerations, reinforced concrete, storage tank.*

Digital Object Identifier (DOI):

ISBN:

ISSN:

Obtención de espectros de respuesta de piso en un edificio de concreto armado implementado con disipadores viscosos: aplicación al análisis sísmico de un tanque de almacenamiento

Marines Renee De la Cruz Sanchez, Br.^{ID}, Mayte Llamccaya Calla Br.^{ID}, Vlacev Toledo Espinoza, MSc.^{ID}
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, U201810957@upc.edu.pe, U201811042@upc.edu.pe, pccivtol@upc.edu.pe

Resumen—Ante un evento sísmico, los elementos estructurales y elementos no estructurales (ENE) son propensos a sufrir daños que los destruyan total o parcialmente. Por ello, su protección es indispensable, más aún, en edificios para alojar centros de salud, el cual es el refugio y primer lugar de auxilio ante un evento catastrófico, como los sismos. Por tanto, el empleo de sistemas de protección como los amortiguadores de fluido viscosos (fluid viscous dampers, FVD) son una buena opción para la disipación de energía sísmica y mejora del desempeño. Aun así, los ENE como tanques de almacenamiento, tabiquerías, cielos rasos, tuberías colgantes, requieren de un sistema de anclaje que les permita mantenerse estables y no ser un peligro. Por esto, en el presente artículo se analiza una estructura de concreto armado de ocho niveles implementado con un sistema de amortiguamiento adicional por medio de disipadores fluido-viscosos y evaluar su capacidad para disminuir los desplazamientos y aceleraciones durante actividades telúricas, siendo el objetivo principal plantear la construcción de espectros de piso, los cuales se obtienen luego de calcular las historias de respuesta de cada nivel mediante un análisis historia de respuesta FNA. La aplicación de los espectros de piso se realiza mediante un análisis de respuesta espectral para obtener las fuerzas de anclaje en un tanque de almacenamiento. En este trabajo no se considera el efecto de la rigidez del líquido en el tanque. Los análisis realizados en el edificio muestran una máxima disminución de las aceleraciones, en el octavo piso, en un 78% en el eje X e Y, después de adicionar los FVD. Por otro lado, se evidenció que las fuerzas de anclaje que requieren los tanques de almacenamiento van incrementándose a cuanto mayor sea el nivel de piso. Asimismo, en el eje X, la máxima disminución de las fuerzas de anclaje fue de 62%, correspondiente al tanque ubicado en el techo. Mientras que en el eje Y, también en el techo, se logra la mayor disminución de la fuerza de anclaje; esta reducción ocurrió en un 63.1%. En ambos casos se logró la aminoración de las fuerzas con el uso del sistema de FVD.

Palabras claves—espectros de piso, elementos no estructurales, disipador de fluido-viscoso, análisis historia de respuesta FNA, desempeño sísmico, fuerza de anclaje, aceleraciones, tanque de almacenamiento, concreto armado.

I. INTRODUCCIÓN

El Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED) y la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) [1], con relación a los daños generados por terremotos en el mundo, indicaron que durante los años 1998 a 2017 el número de personas

afectadas fue de 125 millones (3%), siendo la cantidad de muertes generadas de 747,234 (56%) y con pérdidas económicas que ascendieron a 661,000 millones de dólares estadounidenses (23%), contabilizando el total de desastres producidos en ese periodo. En Sudamérica, el Perú está expuesto al peligro de un gran evento sísmico, y Lima presenta un silencio sísmico de casi 274 años [2]. En ese contexto, el Instituto Nacional de Defensa Civil [3] indicó, que de suscitarse un terremoto de 8.5 Mw, la cantidad de muertos, heridos y viviendas destruidas podrían exceder los 50000, 686000 y 200000, respectivamente.

En ese sentido, el FEMA P-58 [4], indica que los códigos de diseño y construcción sísmo resistente tienen como propósito proveer seguridad a los ocupantes de las edificaciones ante eventos sísmicos; sin embargo, los elementos estructurales y no estructurales pueden sufrir daños que los destruyan total o parcialmente poniendo al edificio fuera de servicio durante un determinado periodo. Por ello, se tiene que medir el desempeño de un edificio considerando los elementos estructurales y no estructurales, con el fin de pronosticar la respuesta de estos ante sucesos sísmicos, estimando la cantidad posible de daños y determinando las consecuencias probables en víctimas, tiempo y costos de reparación, y estado o condición del edificio luego del terremoto. Asimismo, el nivel de daño durante un sismo y las consecuencias de este dependen de la intensidad del suelo; de la respuesta del edificio a la sacudida de la superficie; y las demandas resultantes de fuerza, derivas, aceleración y velocidad experimentada por los elementos estructurales y no estructurales, contenidos y sus ocupantes.

El ASCE/SEI 41 [5] señala que es necesario diseñar medidas que mejoren la prestación sísmica de los elementos estructurales y no estructurales de un edificio, a través de la mejora de las deficiencias detectadas en el estudio sísmico de una estructura, para mejorar su desempeño.

La Norma Técnica Peruana NTP E.030 [6], establece los lineamientos obligatorios para el diseño de edificaciones sísmo resistentes; sin embargo, algunas estructuras esenciales,

ya sea por deficiencias de diseño o antigüedad requieren una protección adicional, que garantice su adecuado desempeño, así como la de sus ENE y contenidos. Existen estrategias que permiten aminorar los efectos sísmicos, como son los disipadores de fluido-viscosos, los cuales en la actualidad son usados, en su mayoría, en edificaciones como hospitales y clínicas debido a su probada eficacia disminuyendo los desplazamientos laterales y mejorando el desempeño en general. Estos dispositivos se componen de cámaras anexadas a un pistón, que contienen líquido viscoso. El desplazamiento que se produce debido al movimiento del pistón hace que se transporte el fluido de una cámara a otra a través de los orificios, generándose una transformación de energía mediante el calor interno y la disipación de esta al ambiente, siendo esta última su principal ventaja [7]. La disipación de energía generada en los disipadores reduce las deflexiones y esfuerzos en los elementos estructurales del edificio [8]. Asimismo, se el empleo de estos amortiguadores puede reducir entre el 75%, 60%, 45%, 300% y 400% el desplazamiento, las aceleraciones de piso máximas promedio, la cortante basal del edificio y la deriva en los pisos, respectivamente [9-10-11]. Si bien el uso de los FVD es efectivo para mejorar el comportamiento sísmico de una estructura, este puede incrementarse con el empleo de arriostres tipo Chevrón, ya que son mejores en términos de disipación de energía [12]. Asimismo, sea cual sea la disposición elegida la distribución en altura debe ser uniforme, y como mínimo, en las direcciones principales debe haber dos dispositivos por nivel. Además, toda la edificación debe contener una organización espacial de la masa, rigidez y amortiguamiento [13].

Con el uso de los disipadores viscosos se logra proteger a los elementos estructurales como no estructurales (tabiques, elementos arquitectónicos, instalaciones sanitarias, eléctricas y gas, equipos mecánicos, mobiliario, entre otros). Sin embargo, para mantener su estabilidad, los ENE requieren un sistema de anclaje para evitar que se desplacen bruscamente o se precipiten fuera de la edificación durante un sismo, de lo contrario, su inestabilidad puede significar un riesgo durante la evacuación de sus ocupantes. En ese sentido, la NTP E.030, en su capítulo VI, establece criterios para el diseño de las fuerzas de anclaje de los ENE [6], ya que la correspondencia funcional y física de los contenidos y ENE, sus soportes y su efecto entre sí, deben asegurar que la deficiencia de un elemento no estructural (esencial o no esencial), no se convierta en una amenaza para las personas, generando así un gran impacto económico y social [13].

La respuesta de los elementos no estructurales se puede obtener a través de los espectros de respuesta de piso, los cuales se basan en el análisis dinámico de una edificación bajo los movimientos del terreno y con la finalidad de obtener diversas respuestas de aceleraciones en cada nivel [14].

Según el FEMA E-47 [15], los tanques de almacenamiento son considerados como ENE. Estos, al no tener un sistema de anclaje conveniente pueden estar vulnerables a generar daños en sus paredes, su volcamiento y desplazamiento, daños en su fuste y en las tuberías conectadas, causando el derrame del líquido que contienen siendo esto altamente perjudicial si se trata de un residuo o sustancia peligrosa. Por ello, para evitar estos riesgos, los tanques requieren anclajes con pernos que se fijan a una losa de concreto o a una cubierta o plataforma de acero. Además, se deben emplear soportes que incluyan clips fijados a su pared.

Por tanto, es necesario conocer el desempeño sísmico de las edificaciones para minimizar las pérdidas humanas y económicas, y así mejorar los planes de contingencia reforzando no sólo los elementos estructurales sino también los ENE. Por ello, el objetivo del presente artículo es la propuesta de diseño sísmico de un elemento no estructural (tanque de almacenamiento considerado como un sistema de un solo grado de libertad sin tomar en cuenta el efecto de la rigidez del líquido en el tanque), ubicado en el techo de un edificio implementado con disipadores viscosos, mediante el uso de espectros de aceleraciones de piso, con la finalidad de obtener las fuerzas de anclaje.

Se considera como aporte, el presentar una metodología sobre la aplicación de espectros de piso al interior de un edificio (uso de un análisis de respuesta espectral en los ENE), que sirva como propuesta a la mejora de los códigos normativos actuales que usan un enfoque de fuerzas horizontales equivalentes para el diseño de estos. A la fecha no se cuenta con muchos estudios sobre los espectros de piso y su aplicación en los ENE.

II. CONTENIDO

Para determinar las fuerzas de anclaje en el tanque de almacenamiento, se generaron los espectros de aceleraciones en cada piso del edificio. Las etapas desarrolladas son las siguientes: (1) recolección de la información del edificio (condiciones actuales, planos y propiedades de los materiales), (2) selección de registros sísmicos y ajuste espectral, (3) modelado y análisis historia de respuesta del edificio, con y sin disipadores, (4) obtención de los espectros de piso a partir de las historias de respuesta de aceleraciones y (5) determinación de fuerzas de anclaje del tanque de almacenamiento.

Etapa 1. Recolección de la información del edificio

Para el desarrollo del estudio se recopilaron los planos correspondientes a un proyecto real de oficinas, planteando un cambio de uso al de un centro de salud de categoría A2. Las características geométricas y parámetros de los materiales del edificio se detallan en la Tabla I. En la Fig. 1 se puede observar el esquema del modelo matemático analizado.

Tabla I
Descripción geométrica y de materiales del edificio

EDIFICIO ESENCIAL	
Área construida	251.52 m ²
N° de pisos	08
Altura típica	2.98 m
Altura total	23.84 m
Concreto	f'c=210kg/m ² (cimentación – columnas de 1 ^{er} y 2 ^{do} piso), f'c=280kg/m ² (columnas de 3 ^{er} a 8 ^{vo} piso)
Columnas	C30x40, C40x40 y C50x50
Vigas principales	V15x50, V30x40 y V30x50
Vigas secundarias	V15x20, V15x25, V25x20, V25x25 y V30x25
Espesor de losa	h=20cm en Piso 1
	h=25 cm en Pisos 2-8

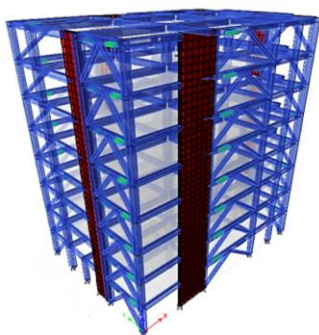


Fig. 1. Vista del modelo matemático para el análisis en el programa Etabs.

Etapa 2. Selección de registros sísmicos y ajuste espectral

Se contó con una base de datos de 99 registros ocurridos en el Perú (únicos y con mayor aceleración pico del terreno), de los cuales se eligieron nueve. La selección se realizó con base a un desagregado sísmico para la ciudad de Lima, determinando el rango de magnitudes a considerar como aptas, las cuales fueron de entre 6 Mw y 7 Mw. En la Tabla II se muestran los registros utilizados.

Tabla II
Registros sísmicos seleccionados

Reg.	Estación	Año	Prof. (km)	Mw	PGA EW	PGA NS
R-01	AQP001	2001	33	6.5	123.21	120.52
R-02	ICA002	2007	40	7	272.82	333.66
R-03	MOQ002	2003	33	5.8	271.87	238.4
R-04	MOL	1974	12.8	6	117.08	93.56
R-05	MOQ001	2001	33	6.9	295.15	219.99
R-06	MOY001	2005	115	7	131.36	103.39
R-07	PRQ	1970	64	6.6	105.05	97.81
R-08	PRQ	1974	13	6.6	194.21	180.09
R-09	TAC001	2010	36	6.5	154	190

Seleccionados los registros, se realizó un ajuste en el dominio del tiempo empleando el programa Etabs [16]. El espectro

objetivo (polilínea negra) corresponde al espectro de diseño de la NTP E.030 para la ciudad de Lima, considerando un suelo tipo S2. Para cumplir con el escalado, según lo exige el ASCE/SEI 7, el promedio de los espectros ajustados en la dirección este-oeste EW (espectro azul) y en el norte-sur NS (espectro amarillo) deben estar por encima del 110% del espectro objetivo (polilínea roja) tal como se muestra en la Fig. 2.

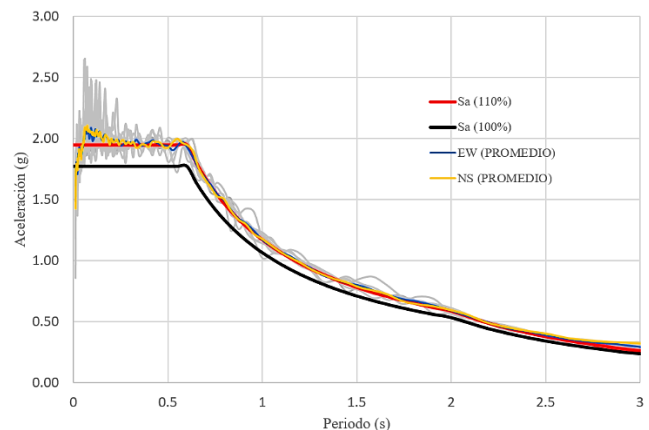


Fig. 2. Ajuste espectral en el dominio del tiempo para los 9 movimientos del terreno seleccionados (EW y NS)

Etapa 3. Modelado y análisis historia de respuesta del edificio, con y sin sistema de protección sísmica

La estructura convencional (E1) y la estructura implementada con FVD (E2) fueron modeladas en el programa Etabs. En la estructura E2 se optó por el empleo de amortiguadores viscosos instalados en arrioste tipo Chevrón. Estos arriostres generan en las vigas zonas de deformación plástica, lo cual es bastante conveniente, ya que disipan energía frente a deformaciones muy grandes sin que la estructura se vea afectada. [12].

Asimismo, la adición de los FVD al modelo numérico supuso realizar un pre-diseño para determinar el coeficiente de amortiguamiento, C, considerando una relación de amortiguamiento de 15% y un exponente de velocidad, α , de 1. En este estudio sólo se emplean FVD lineales. Para calcular la respuesta de la estructura, con el amortiguamiento suplementario, se empleó el procedimiento de la fuerza horizontal equivalente para estructuras con sistemas de amortiguamiento del ASCE/SEI 7, el cual considera el comportamiento en el primer modo y en los modos residuales (superiores) [13]. Además, la fuerza máxima del amortiguador se calculó mediante la ecuación (1). De este modo, en la edificación se emplearon 3 grupos de FVD tanto en X como Y (Tabla III).

$$F = CV^\alpha \quad (1)$$

donde:

F : fuerza en los amortiguadores, C : coeficiente de amortiguamiento, V : velocidad, α : exponente de velocidad.

Tabla III
Cálculo de las constantes de amortiguamiento

Piso	Grupo	α	C (X) Tn-s/m	C (Y) Tn-s/m	Despl. (m)	Velocidad (m/s)	Fuerza (Tn)
Piso 8	FVD_1	1	350	400	0.25	0.2	60
Piso 7	FVD_1	1	350	400	0.25	0.2	60
Piso 6	FVD_1	1	350	400	0.25	0.2	60
Piso 5	FVD_2	1	500	600	0.25	0.2	110
Piso 4	FVD_2	1	500	600	0.25	0.2	110
Piso 3	FVD_2	1	500	600	0.25	0.2	110
Piso 2	FVD_2	1	500	600	0.25	0.2	110
Piso 1	FVD_3	1	1500	1500	0.25	0.25	350

Una vez obtenidos los parámetros básicos del modelo, se realizó el análisis historia de respuesta FNA (Fast Nonlinear Analysis). El FNA se inició vinculando el análisis gravitacional y modificando el número de salida y el tamaño del rango de tiempo, según la data de los registros previamente ajustados. Cabe indicar que este proceso y su corrida se hizo tanto para la estructura sin y con disipadores viscosos.

Etapa 4. Obtención de los espectros de piso a partir de las historias de respuesta de aceleraciones

Realizado el análisis historia de respuesta se obtuvieron las historias de aceleraciones por cada piso, para posteriormente usarlas en la generación de los espectros de piso o de contenidos. Para este fin se empleó el programa Octave [17] utilizando el método numérico de Newmark [18].

Etapa 5. Determinación de fuerzas de anclaje del tanque de almacenamiento

La normativa peruana establece una ecuación (2) para determinar las fuerzas de anclaje de los ENE, en la que se aprecia un C_1 , el cual es un factor que considera internamente otros parámetros como la amplificación dinámica del ENE con respecto al piso, las consecuencias producidas por su falla e incluso la sobre resistencia de la misma estructura. Así también, las aceleraciones horizontales a_i aplicables a esta fórmula son las obtenidas mediante un análisis de combinación espectral [6].

$$F = \frac{a_i}{g} C_1 P_e \quad (2)$$

Para la presente investigación se planteó la ecuación (3), la cual es una propuesta de mejora con base a lo estipulado en el Capítulo 6, artículo 38.1, de la NTP E.030, de manera que se pueda determinar las fuerzas de anclaje empleando los espectros de aceleraciones de piso generados.

$$F = \frac{a_t}{g} C_2 P_e I_p \quad (3)$$

donde:

F : fuerza sísmica horizontal, a_t : aceleración base obtenida del espectro de piso para $T=0$ s, g : gravedad, C_2 : son factores de amplificación asociado a cada ENE, P_e : peso del elemento y I_p : factor de importancia.

El ENE seleccionado para la aplicación del procedimiento propuesto fue un tanque de almacenamiento, ya que dentro de los edificios del sector salud es un elemento que requiere estabilidad, porque contiene un recurso vital (agua, incluso otras sustancias) a usarse antes y después de una emergencia telúrica; de manera que, el tanque no puede presentar deslizamientos importantes o volcarse, ya que eso supondría un riesgo de daño alto a pisos inferiores y la inoperatividad del elemento por la pérdida del recurso líquido. [15]

Asimismo, se consideró el tanque de almacenamiento bajo la condición de 3 periodos estructurales diferentes. Esto con el objetivo de hacer una comparación sobre su comportamiento y la variación de la fuerza de anclaje requerida según el periodo. En ese sentido, el primer periodo es $T_1=0$ s, asumiendo que el tanque está empotrado a la superestructura. El segundo periodo, $T_{2(X)}=0.13$ s y $T_{2(Y)}=0.23$ s, se obtuvo mediante el cálculo de los parámetros dinámicos presentados en la Fig. 3. Finalmente, el tercer periodo, $T_{3(X)}=0.8$ s y $T_{3(Y)}=1$ s, es una proyección lineal entre el T_1 y T_2 .

Los periodos en el eje X e Y del tanque de almacenamiento se obtuvieron mediante las ecuaciones dinámicas (4 y 5) y ecuación de péndulo simple (6).

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (5)$$

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (6)$$

donde:

ω_n : frecuencia angular, k : rigidez del sistema, m : masa del ENE, T_n : periodo, l : longitud de suspensión y g : gravedad.

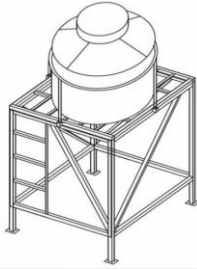
Tanque elevado anclado mediante patas de acero			
Peso propio de tanque=	18.4 kg		
Densidad de agua =	1 kg/L		
Peso de agua=	1100 kg		
Peso Total=	1118.4 kg		
Masa Total=	114.01 kg*s ² /m		
Masa Total=	0.11 tonf*s ² /m		
			
Cálculo de rigidez:			
E=	20389020 tonf/m ²	E=	20389020 tonf/m ²
Icx=	1065000 mm ⁴	Icy=	360600 mm ⁴
Icx=	1.07E-06 m ⁴	Icy=	3.61E-07 m ⁴
h=	1.6 m	h=	1.6 m
kx=	2.54E+02 tonf/m	ky=	86.1595384 tonf/m
Cálculo de periodo:			
Wn=	4.724E+01 rad/s	Wn=	2.749E+01 rad/s
Tn=	0.13 s	Tn=	0.23 s

Fig. 3. Cálculo dinámico para determinar el periodo del tanque.

III. RESULTADOS

Resultados de la Etapa 4: espectros de respuesta promedio

Luego de la obtención de los espectros de piso, para todos los registros, se evaluó el promedio de estos en cada piso. Estos resultados se observan en la Fig. 4, tanto para la estructura sin amortiguamiento (Fig. 4 – a y c) como para la estructura con disipadores viscosos (Fig. 4 – b y d).

La respuesta disminuye con la adición de los disipadores (Fig. 4 – b y d) para todos los niveles, evidenciándose una mayor disminución en el octavo piso, con un 78%, tanto en el eje X (Fig. 4 - a y b) como en el eje Y (Fig. 4 - c y d). Así, podemos notar que la implementación de los disipadores viscosos es más efectiva entre los rangos de periodo de 0.50 s - 0.75 s para “X” y de 0.5 s - 1 s en “Y”.

Resultados de la Etapa 5: Fuerzas de anclaje en el tanque

Los periodos propuestos, usando el análisis de respuesta espectral y asumiendo que el tanque tiene un comportamiento como un sistema de un grado de libertad, se ubicaron en las gráficas de los espectros de la Fig. 4, determinándose las aceleraciones asociadas al tanque de almacenamiento para cada piso. Estas aceleraciones se aprecian en las tablas IV y V.

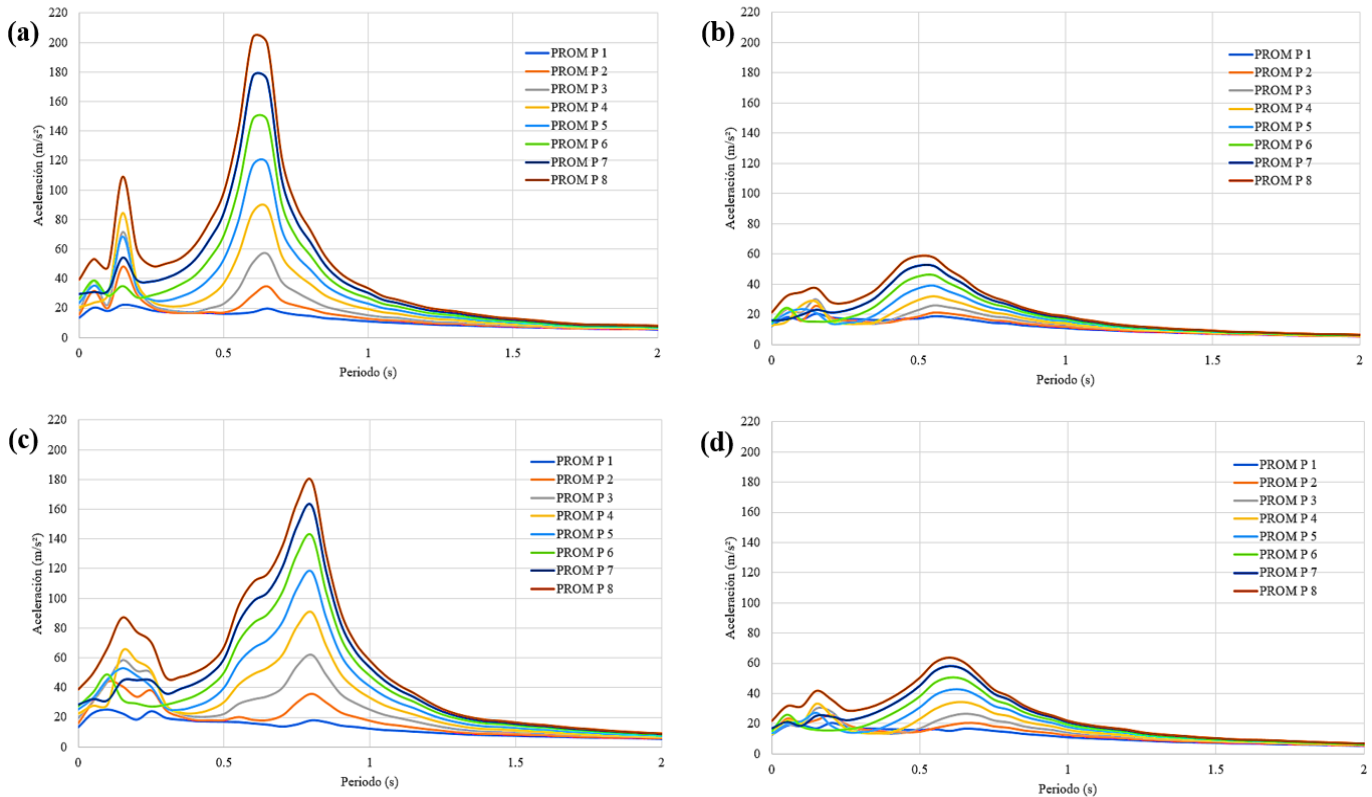


Fig. 4. espectros de aceleraciones de piso (a) aceleración Vs Periodo - Eje "X" – E1, (b) Gráfica de aceleración Vs Periodo - Eje "X" – E2, (c) Gráfica de aceleración Vs Periodo - Eje "Y" – E1, (d) Gráfica de aceleración Vs Periodo - Eje "Y" – E2.

Tabla IV
Aceleraciones de piso - para la estructura sin FVD (E1)

	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6	PISO 7	PISO 8
	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)
Aceleración de piso Eje "X"	13.52	15.53	17.76	20.42	23.56	26.46	29.57	39.55
Aceleración de piso Eje "Y"	13.24	16.01	19.66	22.51	25.59	27.33	28.43	38.72

Tabla V
Aceleraciones de piso - para la estructura con FVD (E2)

	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6	PISO 7	PISO 8
	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)	Sa (m/s ²)
Aceleración de piso Eje "X"	12.30	12.64	12.86	12.74	13.60	14.84	15.86	21.32
Aceleración de piso Eje "Y"	12.76	12.89	12.92	12.95	13.31	15.10	16.75	21.91

Tabla VI
Factores C2 de los ENE - para la estructura sin FVD (E1)

Nivel	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6	PISO 7	PISO 8
Tanque de almacenamiento T₁(Empotrado)	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41
Tanque de almacenamiento T_{2(X-Y)}(Anclaje)	2.24	3.30	3.88	3.87	2.84	1.59	2.20	2.85
Tanque de almacenamiento T_{3(X-Y)}(Anclaje)	1.42	1.66	1.92	2.30	2.52	2.73	2.88	2.37

Tabla VII
Factores C2 de los ENE - para la estructura con FVD (E2)

Nivel	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6	PISO 7	PISO 8
Tanque de almacenamiento T₁(Empotrado)	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41
Tanque de almacenamiento T_{2(X-Y)}(Anclaje)	2.15	2.43	2.69	2.65	2.01	1.48	1.94	2.24
Tanque de almacenamiento T_{3(X-Y)}(Anclaje)	1.43	1.55	1.74	1.98	2.11	2.09	2.09	1.67

Para poder determinar las fuerzas de anclaje del tanque de almacenamiento se empleó la ecuación (3) propuesta; por lo que, se requieren conocer todas las variables que la componen incluyendo el valor de C_2 . Este factor proporciona la forma espectral para obtener aceleraciones en diversos periodos estructurales conociendo la aceleración básica (aceleración de piso o para periodos estructurales de $T = 0$ s). Para obtenerlo se calculó la media geométrica de la relación de las aceleraciones asociadas a cada periodo del ENE entre la aceleración de piso de la estructura, logrando valores de C_2 como se muestra en la Tabla VI para el E1 y la Tabla VII para el E2.

Asimismo, el factor de importancia (I_p) empleado para el tanque de almacenamiento es de 1.5. Este factor, planteado para un componente no estructural, representa el nivel de seguridad para evitar la pérdida de vidas humanas y disminuir el daño del componente, mejorando así su comportamiento y resiliencia [13]. En este sentido, el valor de 1.5 corresponde al de un elemento esencial que debe tener una funcionalidad continua luego de ocurrido un sismo.

Con todos los parámetros definidos se determinó la fuerza de anclaje. En ese sentido, se calculó el producto de la aceleración base (Tablas IV y V, valores a dividir por la

aceleración de la gravedad), el factor de amplificación C_2 (Tablas VI y VII), el peso del tanque de almacenamiento y el factor de importancia $I_p = 1.5$. De este cálculo se generaron las gráficas que se muestran en la Fig. 5, correspondientes a las estructuras E1 (Fig. 5 – a y c) y E2 (Fig. 5 – b y d), respectivamente.

Cabe indicar que, si bien la ubicación del tanque de almacenamiento para agua comúnmente es en el último nivel, se estudió su probable ubicación en los diversos niveles, con el objetivo de poder evaluar la variación de las fuerzas de anclaje.

IV. DISCUSIÓN

- Las gráficas aceleración Vs periodo, muestran una disminución de las aceleraciones de piso, luego de implementar en la estructura convencional los FVD. La mayor disminución fue en el octavo piso, con un 78%, tanto en el eje X (Fig. 4 - a y b) como en el eje Y (Fig. 4 - c y d).
- Las Figuras 4 – a, b, c y d (aceleración Vs periodo) representan los espectros de piso. Estos fueron empleados para obtener las aceleraciones en los periodos planteados del tanque de almacenamiento. Del mismo modo, estos se usaron para determinar el valor de C_2 , el cual es una

variable fundamental para calcular las fuerzas de anclaje en los ENE con diversos periodos.

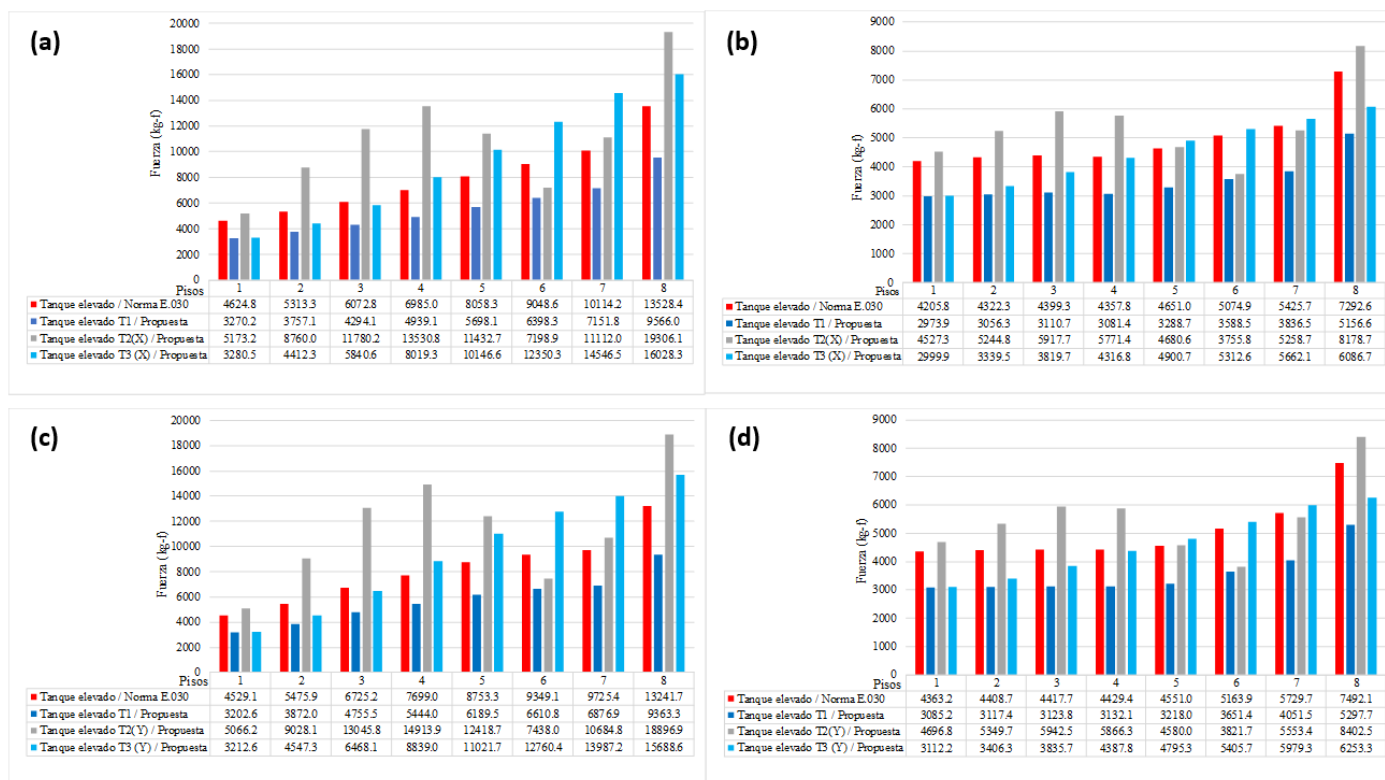


Fig. 5. Piso Vs Fuerza de anclaje (a) Fuerzas de anclaje para el tanque de almacenamiento según norma E.030 y fórmula propuesta E1-Eje "X", (b) Fuerzas de anclaje para el tanque de almacenamiento según norma E.030 y fórmula propuesta E2-Eje "X", (c) Fuerzas de anclaje para el tanque de almacenamiento según norma E.030 y fórmula propuesta E1-Eje "Y", (d) Fuerzas de anclaje para el tanque de almacenamiento según norma E.030 y fórmula propuesta E2-Eje "Y".

- En los ejes X e Y de la estructura sin FVD (Fig. 5 - a y c) y con FVD (Fig. 5 - b y d), las fuerzas máximas de anclaje obtenidas para los elementos, según la Norma E.030 y este estudio, corresponden al nivel 8.
- Según la ecuación (3) propuesta, la mayor fuerza de anclaje, en el octavo nivel, corresponde al tanque de almacenamiento con $T_{2(X)} = 0.13$ s. En el eje "X", la fuerza de este elemento disminuyó de 19306.1 kg (Fig. 5 - a), para la estructura sin amortiguamiento, hasta 8178.7 kg (Fig. 5 - b) una vez implementados los disipadores viscosos, representando una reducción de un 57.6%. Asimismo, según la Norma E.030, este mismo elemento en las condiciones antes indicadas, requiere una fuerza de anclaje de 13528.4 kg (Fig. 5 - a) para la edificación sin FVD, mientras que para la estructura con FVD se necesita 7292.6 kg (Fig. 5 - b).
- En el eje "Y", la fuerza máxima para la estructura sin FVD y con FVD, en el octavo nivel, corresponde al tanque de almacenamiento con $T_{2(Y)} = 0.23$ s y una fuerza de 18896.9 kg (Fig. 5 - c) y 8402.5 kg (Fig. 5 - d), observándose una disminución de 56% aproximadamente.
- En el eje "X", la máxima reducción de la fuerza de anclaje fue de 62%; esta se dio en el octavo nivel para un $T_{3(X)} = 0.8$ s, con una disminución de la fuerza de 16028.3 kg (Fig. 5 - a) a 6086.7 kg (Fig. 5 - b); mientras que, en el eje "Y" esta reducción ocurrió para un $T_{2(Y)} = 0.23$ s en el quinto piso, dicha disminución fue de 12418.7 kg (Fig. 5 - c) a 4580 kg (Fig. 5 - d), que representa una disminución de 63.1%. En ambos casos se evidenció un decremento luego de implementar el FVD en la estructura.
- En los ejes "X" e "Y", los porcentajes de disminución de las fuerzas propuestas se incrementa a medida que aumentan los niveles.

V. VALIDACIÓN

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que es medible, con un propósito aplicativo. El nivel es explicativo y el diseño es de tipo cuasi experimental, debido a que la muestra no fue elegida aleatoriamente, sino a conveniencia de la investigación.

Fahiminia & Shishegaran [9] emplearon los FVD para una edificación de 8 niveles, donde la aceleración de piso disminuyó hasta en un 60%, lo cual se considera similar a la reducción de la aceleración obtenida en este estudio, ya que para el modelo con FVD, las aceleraciones se redujeron hasta en un 78% en los ejes X e Y.

VI. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

- El tanque de almacenamiento ubicado en el último piso requiere una mayor fuerza de anclaje en comparación a los que están en los pisos inferiores. Esto se puede extrapolar a otros tipos de elementos no estructurales, según los resultados obtenidos.
- La generación de los espectros de piso fue muy útil, ya que permitió evidenciar una gran reducción de las aceleraciones de piso de la estructura, una vez añadidos los FVD, para un rango amplio de periodos de los elementos no estructurales comprobando la efectividad de estos dispositivos.
- Los pasos que se proponen se pueden repetir para otros ENE como tabiques, parapetos, racks, ventiladores, entre otros. La ventaja del método empleado es que permite conocer la aceleración de diseño de una manera precisa, pero la desventaja es que se requieren realizar análisis historia de respuesta a cada edificio, con el tiempo que estos requieren y la cantidad de datos a procesar. En un estudio posterior se podrán plantear formas espectrales, mediante ecuaciones sencillas, para encontrar las aceleraciones en los ENE conociendo las aceleraciones básicas en cada piso.
- Con respecto a la Norma E.030, se considera el tanque de almacenamiento como un elemento no estructural sin distinguir el periodo al que vibra el elemento. Sin embargo, empleando los espectros de respuesta generados pudimos evidenciar que un cambio de periodo en el mismo elemento puede determinar una mayor o menor fuerza de anclaje. Por lo mismo, podemos decir que la ecuación propuesta en el presente estudio arrojó resultados más precisos para predecir la fuerza de anclaje.
- Los espectros de piso son útiles, ya que no sólo pueden dar información sobre la aceleración a la que vibra un ENE a cierto periodo (que a su vez sirve como base para el diseño de anclajes, como lo comprendido en el presente estudio), sino también sobre otros parámetros como el desplazamiento que experimenta y/o velocidad; lo cual también se podrá profundizar en futuras investigaciones.

VII. REFERENCIAS

- [1] M. Mizutori y D. Guha-Sapir, “Pérdidas económicas, pobreza y desastres”, CRED, UNDRR, 2017. Accedido: 31 ene. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://eird.org/americas/docs/perdidas-economicas-pobreza-y-desastres.pdf>
- [2] Instituto Geofísico del Perú, "IGP: Detalles tras cumplirse 274 años del peor terremoto que destruyó Lima y Callao". Plataforma digital única del Estado Peruano, Accedido: 20, mar. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/bFzXAY>
- [3] Instituto Nacional de Defensa Civil, "Sismo: Mapa con las zonas de más alto riesgo en Lima." Gestión, Accedido: 15, abr. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/PAV32V>
- [4] *Seismic Performance Assessment of Buildings*, FEMA P-58-1, FEMA, California, dic. 2018.
- [5] *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, ASCE/SEI 41-13, ASCE/SEI, Virginia, 2014.
- [6] *Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente*, NTP E.030, MVCS, Lima, feb. 2019.
- [7] A. Klembezyk, “Fluid Viscous Dampers”, Taylor Devices, Inc., 2022. Accedido: 31 ene. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.taylordevices.com/>
- [8] J. P. Chávez. Diseño sismorresistente de edificios con disipadores de fluido viscoso. Lima, Perú: Edición del autor, 2017. Accedido: 20 jun. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/ZAZf4c>
- [9] M. Fahiminia y A. Shishegaran, “Evaluation of a developed bypass viscous damper performance,” *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, no. 14(3), pp. 773–791, 2020. Accedido: 25 jun. 2022. doi: <https://doi.org/10.1007/s11709-020-0627-2>. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11709-020-0627-2>
- [10] L. Ajay y M. Kumar, “Torsional vibration control of a structure using fluid viscous,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, pp. 1197(1), 012046, 2021. Accedido: 25 jun. 2022. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1197/1/012046>. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/e0UJdA>
- [11] S. Habibur et al., “Performance assessment of various seismic resistant systems for a multistory structure in different seismic zones of Bangladesh,” *Journal of Engineering, Design and Technology*, p. 8, 2022. Accedido: 25 jun. 2022. doi: 10.1108/JEDT-11-2021-0656. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/ElbwjH>
- [12] R. Munguia, “Tipos de uniones y tipos de vigas,” *Ingeniería Metal Mecánica*, Hermosillo Sonora, 31, dic. 2014.
- [13] *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*, ASCE/SEI 7-22, ASCE/SEI, Virginia, 2022.
- [14] G. Vazquez, H. Juárez y A. Gomez, “Comportamiento sísmico de componentes no estructurales en hospitales del Estado de Guerrero”, 2016. Accedido: 24 ag. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/yD9U1y>
- [15] *Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage – A Practical Guide*, FEMA E-74, FEMA, Washington, dic. 2012. 10 ene. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/hxhjJt>
- [16] Etabs, por A. Habibullah. 1975. [En línea]. Disponible en: <https://www.csiamerica.com/products/etabs>
- [17] Octave, por J. Eaton. 1988. [En línea]. Disponible en: <https://octave.org/>
- [18] E. Vásquez, R. Aguiar, A. Aref, “Análisis de respuesta elástica en el tiempo aplicando el Método de Newmark y el Método de Wilson”, *Revista Ciencia*, vol. 18, no. 2, pp. 281-304, abr. 2016. Accedido: 28 ene. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/KDQxKD>