

ADECUACIÓN DE ESTRUCTURAS CON COLUMNA CORTA MEDIANTE DISIPADORES

STRUCTURAL RETROFITTING OF SHORT COLUMNS STRUCTURES WITH DAMPERS

Carlos Martínez^{a,b}, Cristian Bay^a, María E. Compagnoni^a, José Roca^a y Andrés Campi^a

^a *Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Urquiza 314, C.P.: 5600, San Rafael, Mendoza, Argentina, <http://www.frsr.utn.edu.ar>*

^b *Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo, Bernardo de Irigoyen 375, C.P.: 5600, San Rafael, Mendoza, Argentina, <http://fcai.uncu.edu.ar>*

Palabras clave: Disipadores, Columna corta, Mampostería.

Resumen. En zonas sísmicas se tienen numerosas edificaciones que presentan diseños sísmicos inadecuados, por haberse realizado con reglamentos sísmicos antiguos, que no reflejan los conocimientos y experiencias que aporta la ingeniería sismorresistente actual. Un caso típico, son los diseños con columnas cortas, las cuales son factibles de presentar fallas frágiles, como se ha demostrado repetidamente durante recientes eventos sísmicos severos. En estos casos, es necesaria su adecuación sísmica, a los efectos de asegurar un comportamiento estructural sin colapso ante un terremoto destructivo. Para concretar la adecuación estructural existen diversos procedimientos. Tradicionalmente se han utilizado procedimientos basados en la incorporación de resistencia y rigidez en la estructura mediante elementos de hormigón armado o acero, incluso materiales compuestos. Estas metodologías en general son complicadas de aplicar y resultan invasivas desde el punto de vista funcional. En este trabajo se presenta una metodología de diseño sistemas de disipación de energía para mitigar el problema de columna corta.

Keywords: Dampers, short column, masonry.

Abstract. In seismic areas there are numerous buildings with inadequate seismic designs, because they were built under old seismic regulations that do not reflect the knowledge and experience of current seismic-resistant engineering. A typical case is designs with short columns, which are susceptible to brittle failures, as has been repeatedly demonstrated during recent severe seismic events. In these cases, seismic retrofitting is necessary to ensure structural behavior without collapse in the event of a destructive earthquake. There are several procedures to achieve structural adequacy. Traditionally, procedures based on the incorporation of strength and stiffness in the structure by means of reinforced concrete or steel elements, including composite materials, have been used. These methodologies are generally complicated to apply and functionally invasive. This paper presents a design methodology for energy dissipation systems to mitigate the short column problem.

1 INTRODUCCIÓN

En zonas sísmicas, encontramos numerosas edificaciones que fueron diseñadas y construidas de acuerdo con regulaciones obsoletas, es decir, normativas que no incorporan los avances y conocimientos actuales en ingeniería sísmica. En nuestro país, donde gran parte del oeste del mismo se encuentra en una zona de riesgo sísmico moderado a alto, los primeros reglamentos sismorresistentes datan de 1970. Por lo tanto, las edificaciones erigidas antes de la implementación de las nuevas regulaciones podrían ser susceptibles a daños significativos durante eventos sísmicos importantes. Uno de los problemas más habituales que provoca daños catastróficos en edificaciones durante eventos sísmicos es el denominado "Efecto de Columna Corta". Este fenómeno ocurre cuando se limita parcialmente el desplazamiento lateral de una columna, generalmente mediante paredes de mampostería con ventanas, lo que resulta en una concentración de esfuerzos cortantes significativamente mayores en la porción no restringida de la columna en comparación con una columna completamente libre en toda su altura. En la Figura 1 se observa esta patología detectada en la Escuela Pío XII, ubicada en la Ciudad de Mendoza.



Fig. 1. Patología de Columna Corta. Escuela Pío XII. Ciudad de Mendoza, Argentina.

El verdadero problema no es que la columna sea corta, sino que no haya sido considerada así en el análisis y diseño de la estructura, al menospreciar la influencia de los componentes no estructurales. Para evitar que el fenómeno de Columna Corta, existen diversas técnicas de refuerzo ya utilizadas: separar convenientemente los componentes no estructurales que puedan inducirlo, incrementar la resistencia a corte en la columna o incrementar las dimensiones de la columna. También, se han propuesto técnicas innovativas que incluyen refuerzo con fibras (Palazzo *et al*, 2018) y disipadores histeréticos o barras elásticas (Martínez *et al*, 2016)

Actualmente también se ha propuesto la incorporación de disipadores para mitigar esta patología.

El objetivo de este trabajo es incorporar amortiguadores de la industria automotriz, para reducir la respuesta sísmica de estructuras que presentan tipología de columna corta, características por ejemplo de edificios escolares de la década del 70' de la provincia de Mendoza.

1.1 Efecto de columna corta

En edificios de hormigón armado, la mampostería puede estar presente en una gran gama

de configuraciones, formando parte del cerramiento exterior o divisiones en el espacio interior. A menos que se tomen previsiones especiales, todas las paredes enmarcadas por la estructura, influirán de alguna forma en los mecanismos resistentes a acciones laterales. En algunos casos, la presencia de mampostería puede alterar notablemente la distribución de deformaciones y tensiones en los miembros de pórticos o marcos. Si estos rellenos de mampostería no son considerados adecuadamente, la respuesta de la estructura distará significativamente de lo previsto en el modelo.

En particular, al tener mayor rigidez el pórtico relleno toma mayor fuerza sísmica que el pórtico original. Es de particular importancia el caso en que la mampostería de relleno no abarca toda la altura de las columnas, sino que deja una porción libre, lo cual es muy común ante la presencia de ventanas. En estos casos, el desplazamiento horizontal relativo entre la base y la parte superior de la columna se concentra sólo en su porción libre, lo que genera tensiones sustancialmente más altas que las correspondientes a la misma columna, pero libre en toda su altura. Esta situación, conocida como el “efecto de columna corta” es una de las causas más comunes de daños en caso de sismos (Figura 2).

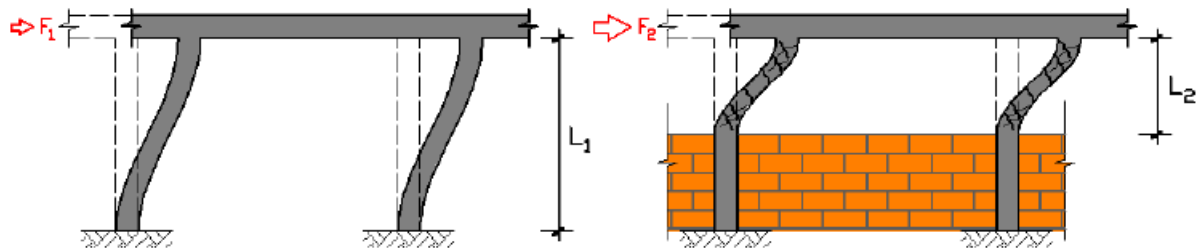


Fig. 2. Efecto de Columna Corta.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo, los análisis se realizarán a través de la simulación numérica, mediante *software* comercial de elementos finitos ETABS 20.

Las simulaciones se realizan sobre un vano de uno de los pórticos de la estructura de la Escuela Pío XII que se mencionó anteriormente. Se realiza un análisis dinámico no lineal de la estructura original y de la misma con la incorporación de amortiguadores de la industria automotriz, cuyas propiedades se obtuvieron a través de ensayos realizados en el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), sometiendo a los amortiguadores a ciclos de desplazamiento controlado, con velocidad variable, en el cual se mide la fuerza desarrollada a través de una celda de carga.

En la Figura 3 se muestra el modelo utilizado de vano modelado en ETABS.

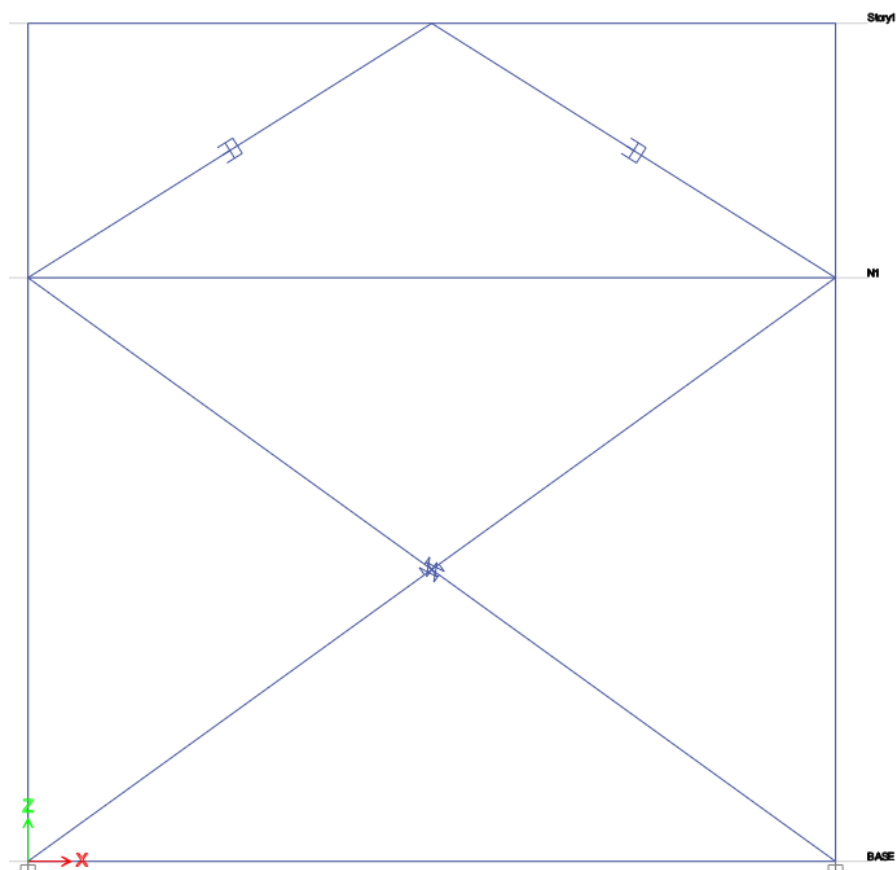
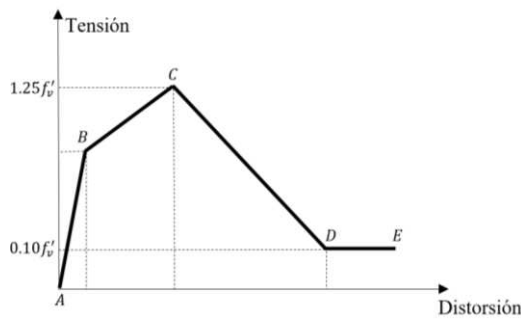


Fig. 3. Modelo de vano realizado en ETABS.

2.1 Modelo constitutivo de la mampostería

Diferentes modelos han sido utilizados para representar el comportamiento no lineal de la mampostería a través de una biela equivalente. Sin embargo, no es fácil encontrar un método que permita representar correctamente el comportamiento cíclico no lineal del pórtico relleno con mampostería, a un bajo costo computacional. Panagiotakos y Fardis (1994), por medio de ensayos cíclicos definieron una relación tetra-lineal para determinar el comportamiento estático no lineal de la mampostería. La primera rama, AB, está caracterizada por la resistencia al corte de la mampostería, la segunda rama, BC, por la resistencia de la biela equivalente y luego un descenso para una resistencia residual, rama CD, generalmente adoptado para estabilidad de los métodos numéricos de resolución (Fig. 4). La definición de la segunda rama y la resistencia máxima son los puntos críticos en este proceso. Existen diversas expresiones propuestas en la bibliografía para determinar el ancho de la biela equivalente y la resistencia de la segunda rama. Para el presente trabajo se adoptan los valores de ancho de biela indicados en el Reglamento IC103-III (2018) y la resistencia máxima se adopta como 1,25 la resistencia a la primera fisura.

En la Figura 4 se muestra a la izquierda el modelo no lineal y a la derecha la caracterización de cada uno de los puntos, donde f_v es la resistencia al corte de la mampostería, E_m y G_m los módulos de elasticidad longitudinal y transversal respectivamente, t , el espesor del muro, l y h la altura y alto del muro y Θ el ángulo que forma la diagonal con la horizontal. E_m se adopta como $1200 f'_m$ y G_m como $0,20 E_m$, donde f'_m representa la resistencia a la compresión. Valores obtenidos del IC103-III (2018).



Punto	Fuerza	Desplazamiento
A	0	0
B	$\frac{f'_v \cdot t \cdot l}{\cos \theta}$	$\frac{G_m}{f'_v \cos \theta}$
C	$\frac{1.25 f'_v \cdot t \cdot l}{\cos \theta}$	$\frac{G_m}{f'_v \cos \theta} + \frac{2.5 f'_v \cdot h}{E_m \cos \theta \cdot l}$
D	$\frac{0.10 f'_v \cdot t \cdot l}{\cos \theta}$	$\frac{G_m}{f'_v \cos \theta} + \frac{232.5 f'_v \cdot h}{E_m \cos \theta \cdot l}$
E	$\frac{0.10 f'_v \cdot t \cdot l}{\cos \theta}$	$\frac{0.02 h}{\cos \theta}$

Fig. 4. Modelo no lineal utilizado para la mampostería.

Para incluir en el modelo el comportamiento cíclico se utilizó el modelo recientemente desarrollado por Cavaleri y Di Trapani (2014), quienes validaron la utilización del modelo de histéresis de Pivot. Este modelo fue propuesto por Dowel et al (1998) para representar el comportamiento cíclico de columnas de hormigón armado. La principal ventaja de esta metodología es que utiliza reglas geométricas para definir las ramas de carga y descarga, prescindiendo de expresiones analíticas que complican la modelación. Al presentar la ventaja de poder aplicar asimetría en sus ramas es perfectamente aplicable a los pórticos rellenos de mampostería.

Los encadenados verticales y horizontales de hormigón armado se modelaron con comportamiento lineal y elástico. Se utilizó un hormigón H20, $E_c = 21019\text{Mpa}$.

Para la modelación de los amortiguadores vehiculares, se utiliza un elemento tipo link de ETABS (Fig. 3), utilizando un modelo tipo Damper Exponential (ETABS 20), siguiendo las recomendaciones de modelación dadas por Taylor devices inc. (Canney y Malatesta, 2022).

2.2 2.2 Excitación sísmica

Para obtener la respuesta de la estructura ante distintos escenarios sísmicos posibles, se utilizaron 28 registros sísmicos compatibles con espectros de diseño (Shinozuka y Deodatis, 1991).

Siete de esos registros corresponden a sismo frecuente, con 50% de probabilidad de excedencia en 30 años; 7 para sismo ocasional, con 50% de probabilidad de excedencia en 50 años; 7 para sismo raro, con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años; y 7 para sismo muy raro, con 10% de probabilidad de excedencia en 100 años. Se ha considerado como sismo raro el dado por la norma INPRES CIRSOC 103 Parte I (2013) para zona 4 y tipo espectral 1. El espectro de sismo frecuente se obtiene según la propuesta de Aguiar (2004), a partir del espectro elástico dado por la norma, ajustado para un valor de la relación de amortiguamiento del 2% y dividido por 3. Para el Sismo Ocasional, se utilizó la recomendación de Guendelman (2002), que consiste en multiplicar el espectro del sismo frecuente por 1.4. Finalmente, para el evento muy raro se adopta la recomendación de Aguiar (2004) quien propone multiplicar el espectro elástico por 1.3.

En la Figura 5 se muestran los correspondientes espectros de respuesta de cada uno de los registros junto con los espectros de diseño para cada nivel de excitación.

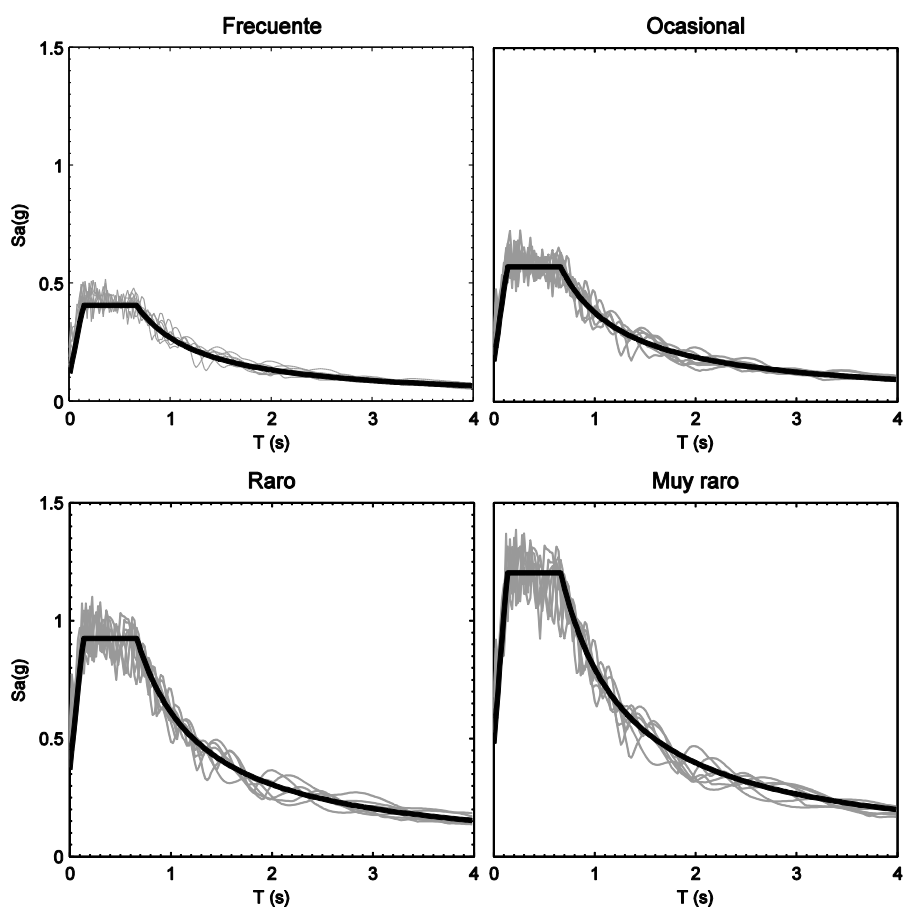


Fig. 5. Espectros de respuesta de los 28 sismos seleccionados.

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Tabla 1 se comparan las respuestas obtenidas para el panel de mampostería seleccionado original, y para el mismo con la incorporación del sistema de disipación de energía.

Como se puede observar, en todos los casos se presentan reducciones de los valores de distorsión de piso y corte en la columna, obteniéndose las mayores reducciones para los casos del escenario “muy raro”.

Intensidad Respuesta	Frecuente			Ocasional			Raro			Muy Raro		
	Columna corta	Con amortigua dores	Reducción (%)	Columna corta	Con amortigua dores	Reducción (%)	Columna corta	Con amortigua dores	Reducción (%)	Columna corta	Con amortigua dores	Reducción (%)
Distorsión superior	0.28%	0.27%	0.96%	0.34%	0.34%	0.39%	1.04%	1.04%	0.31%	1.51%	0.22%	85.46%
Distorsión inferior	0.13%	0.13%	1.94%	0.21%	0.21%	1.69%	1.52%	1.52%	0.33%	2.21%	0.11%	95.00%
Corte Columna (kN)	61.38	60.89	0.80%	71.93	71.58	0.50%	99.44	99.07	0.37%	142.23	57.71	59.42%
Corte Basal (kN)	125.33	122.93	1.91%	145.06	140.30	3.28%	204.06	146.21	28.35%	292.23	116.22	60.23%

Tabla 1. Comparación de respuesta panel de mampostería original y con sistema de disipación de energía.

Para todos los casos, la demanda de desplazamientos y fuerzas no supera los valores a los que se llegaron en los ensayos. Si bien los fabricantes no proveen la información respecto a fuerzas máximas o desplazamientos o velocidades máximas, la ventaja de los amortiguadores vehiculares es que están diseñados para valores de desplazamientos y velocidades mayores a los que pueden darse en una estructura sometida a excitación sísmica.

4 CONCLUSIONES

En este trabajo se propone la utilización de amortiguadores comerciales de la industria automotriz a los efectos de mitigar el problema de columna corta en construcciones antiguas. Se realiza un modelo sencillo de un paño de mampostería de una edificación escolar típica de la década del 70 de la provincia de Mendoza. Para la modelación de la mampostería se utiliza una respuesta no lineal, llamado modelo de pivot, el cual ha demostrado ser apto para la modelación no lineal de mampostería de relleno. A partir del ejemplo numérico mostrado, se observa que la inclusión del sistema de disipación de energía es efectiva en el control de la respuesta sísmica y por lo tanto en la mitigación del fenómeno de columna corta. La ventaja principal de este sistema respecto a otras alternativas se manifiesta en el bajo costo, la baja intervención en la estructura original, acortando plazos y sin perder la funcionalidad del mismo durante grandes periodos de tiempo, lo cual obligaría a desalojar edificios, con las consecuencias económicas y sociales que ello tendría, por ejemplo, en los casos de edificios públicos como pueden ser los edificios escolares. Si bien se trata de estudios preliminares, los resultados obtenidos invitan a seguir investigando esta propuesta para mejorar el desempeño sísmico de edificios con patología de columna corta.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto de Investigación ECPPBSR0008469 de la SCyT de la Universidad Tecnológica Nacional. Los autores desean expresar su agradecimiento además al Ing. Raffo del Instituto Tecnológico de Buenos Aires por su contribución en los ensayos de los amortiguadores.

REFERENCIAS

- Aguiar R. (2004) Espectros sísmicos de riesgo uniforme para verificar desempeño estructural en países sudamericanos. *Boletín Técnico IMME* 42(1):2004. http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2004000100002 (visitada 20 de setiembre de 2016).
- Canney, N y Malatesta, A. (2022) Viscous Damper Modeling Design Guide. Taylor Devices inc. https://www.taylordevices.com/custom/pdf/website/techlibrary/Taylor%20Devices_Viscous%20Damper%20Modeling%20Design%20Guide.pdf (visitada 15 de setiembre de 2023).
- Cavaleri, L, Di Trapani, F. (2014). Cyclic response of masonry infilled RC frames: Experimental results and simplified modeling. *Soil Dynamics and Earthquake Engineerings* 65, 224-242.
- Dowell, R. K., Seible, F., Wilson, E. L. (1998). Pivot Hysteresis model for reinforced concrete members. *Struct. J. (ACI)* 95(5), 607-617.
- Guendelman T. (2002). Análisis y Diseño Sísmico de Edificios de Hormigón Armado. *Memorias de Seminario dictado en Universidad de La Serena, compilado en CD, La Serena.*
- INTI, 2018. INPRES-CIRSOC 103. Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes, Parte I: Construcciones en general.
- INTI, 2013. INPRES-CIRSOC 103. Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes, Parte III: Construcciones de Mampostería.
- Martinez, C. A. y otros, 2016. Diseño de sistemas de disipación pasiva de energía para rehabilitar construcciones antiguas en zonas sísmicas validado mediante análisis dinámico no lineal. *Mecánica Computacional*, pp. 583-599.

- Palazzo, G. y otros, 2018. Seismic retrofit of school buildings through passive energy dissipation systems. Lima - Perú, XXXVIII *Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural*.
- Panagiotakos, T, Fardis, M (1994). Proposed nonlinear strut models for infill panels. En: 1st Year Progress Report of HCM-PREC8 *Projetc, University of Patras*.
- Shinozuka M y Deodatis G. (1991). Simulation of stochastic processes by spectral representation. *Applied Mechanics Reviews* 44(4):191-205.