

DISEÑO BASADO EN DESPLAZAMIENTO PARA DISIPADORES DE ENERGÍA EMPLEADOS EN EL REFUEERZO DE EDIFICIOS ESCOLARES

DISPLACEMENT-BASED DESIGN PROCEDURE OF DAMPED BRACES FOR RETROFITTING OF SCHOOL BUILDINGS

Cristian Bay^a, Gustavo Palazzo^b y Julián Prados^a

^aGEDEC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael, Urquiza 314B, 5600 San Rafael, Mendoza, Argentina, cbay@frsr.utn.edu.ar, <http://www.frsr.utn.edu.ar>

^bCeReDeTeC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Rodríguez 273, 4200 Mendoza, Argentina, <http://www.frm.utn.edu.ar>

Palabras clave: Diseño por desplazamientos, Disipadores Histeréticos, Refuerzo escuelas.

Resumen. En zonas de alta peligrosidad sísmica existen estructuras antiguas, que podría requerir un refuerzo estructural. Los sistemas de disipación pasiva presentan constituyen una alternativa para el refuerzo de edificios, que permiten además reducir los tiempos de ejecución de obra. El objetivo de este trabajo es estudiar un edificio escolar reforzado con sistemas de disipación de energía diseñado aplicando el diseño basado en desplazamientos. La metodología es aplicada a una escuela típica de la provincia de Mendoza - Argentina, construida con reglamentos de la década de 70. El procedimiento propuesto es verificado mediante un análisis dinámico no lineal de la estructura. Se consideran desplazamientos, distorsiones y demandas de ductilidad para evaluar la eficiencia del método. En las conclusiones se resaltan las ventajas del procedimiento implementado.

Keywords: Displacement Design, Hysteretic Dampers, retrofitting of school buildings.

Abstract. In areas of high seismic hazard there are old structures that could require structural retrofit. Passive dissipation systems are an alternative to retrofit buildings, which reduces work times. The object of this paper is to study a school building retrofit with energy dissipation devices, designed through the displacement-based design. The methodology is applied to a typical school in the province of Mendoza - Argentina, built with standards from the 70s. The proposed procedure is verified by a nonlinear dynamic analysis of the structure. Displacements, distortions and ductility demands are compared to evaluate the efficiency of the method. The conclusions highlight the advantages of the procedure implemented.

1 INTRODUCCIÓN

La vulnerabilidad de edificios existentes, y las estrategias para su refuerzo, es un problema internacional. En el caso de edificios escolares, la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres - UNISDR (www.unisdr.org), está promoviendo con los miembros de la Alianza Global la Reducción del Riesgo de Desastres y la Resiliencia en el Sector de la Educación - GAD3RES (<https://gadrrres.net>), una acción coherente y coordinada sobre la seguridad escolar a nivel mundial. La UNISDR, además, ha coordinado el desarrollo de una Iniciativa Mundial para Escuelas Seguras – WISS (www.unisdr.org/we/campaign/wiss) como un programa de asociación global para la implementación de la seguridad escolar que abarca la gestión escolar de desastres, la reducción del riesgo de desastres y la educación de resiliencia.

A los efectos de cuantificar la magnitud del problema en el caso de la provincia de Mendoza, se destaca que posee aproximadamente 1500 escuelas, en las que se educan unos 500000 alumnos, y donde solo unos 400 edificios fueron diseñados luego de la aparición del Código de Construcciones Sismorresistentes de Mendoza de 1987. Así, en esta provincia sería necesario evaluar la vulnerabilidad de más de 1000 construcciones, muchas de las cuales podrían requerir adecuación.

Para concretar la readecuación o rehabilitación 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 de aplicación compleja y resultan invasivas desde el punto de vista funcional. Además, implican grandes tiempos de paralización de las actividades, con los problemas logísticos que esto acarrea. Otras metodologías están basadas en nuevas tecnologías, como sistemas de aislamiento sísmico, sistemas de disipación pasiva de energía o sistemas de control activo de la respuesta estructural.

Conocidos los problemas conceptuales de los métodos de diseño basados en fuerzas, es que en el último tiempo se han desarrollado métodos de diseño basados en desplazamientos y desempeño. Estos métodos utilizan el desplazamiento como punto de partida, a diferencia de los métodos basados en fuerzas que lo utilizan como verificación final. (Priestley, 1993).

Los métodos basados en desplazamiento comienzan a vincularse con el diseño de estructuras equipadas con sistemas de disipación. Los primeros desarrollos son [Lin et al \(2003\)](#), siguen [Kim y Choi \(2004\)](#) y [Ponzo et al. \(2009\)](#). [Ponzo et al. \(2009\)](#) determina las propiedades del sistema de disipación imponiendo la equivalencia entre la energía almacenada en un sistema elástico equivalente de un grado de libertad (estructura original) y en el sistema elastoplástico (sistema de disipación). [Bergami y Nuti \(2013\)](#) desarrollan un procedimiento para estructuras existentes basado en desplazamientos que utiliza el método del espectro de capacidad. [Mazza y Vulcano \(2015\)](#) desarrollan un método donde se fija un desplazamiento de desempeño de la estructura a rehabilitar y las propiedades del sistema de disipación son determinadas por medio de iteraciones.

El objetivo de este trabajo es presentar una metodología de diseño simple en la rehabilitación de estructuras equipadas con sistemas de disipación pasiva de energía. Tiene como punto de partida el método propuesto por [Mazza y Vulcano \(2015\)](#), al cual se le realiza una modificación en la determinación del amortiguamiento viscoso equivalente.

La metodología se desarrolla en el punto 2 de este trabajo. En 3 se realiza la aplicación numérica a un edificio escolar ubicado en zona de alta peligrosidad sísmica. Para evaluar la metodología se utiliza un modelo computacional de fibras no lineales en un software de código abierto ([Mazzoni, et al., 2009](#)). Se somete la estructura a 9 registros con fuentes sismogénicas correspondientes a falla lejana y falla cercana. La sección 4 presenta las conclusiones.

2 DISEÑO DEL SISTEMA DE DISIPACIÓN

Se presenta una metodología de diseño basada en desplazamientos utilizando criterios de desempeño para definir desplazamientos objetivos y tomando como base de partida la metodología propuesta por [Mazza y Vulcano \(2015\)](#). Los pasos que sigue la metodología son:

2.1 Determinar el comportamiento de la estructura existente

El primer paso consiste en evaluar el desempeño de la estructura original. Para ello, se realiza un análisis estático incremental con un patrón de cargas similar al primer modo de vibración. La estructura de varios grados de libertad es transformada en un sistema de un grado de libertad mediante el concepto de estructura equivalente o sustituta ([Fajfar, 2000](#)), donde el desplazamiento y el cortante basal son divididos por el factor de participación modal, Γ , para obtener las características de la estructura de un grado de libertad.

Basado en el concepto del diseño basado en desplazamientos, ([Priestley, et al., 2007](#)) resulta necesario definir el desplazamiento objetivo del sistema, d_p . El cual representa el desempeño esperado de la estructura. Así, por ejemplo, se pueden seguir los lineamientos del ([ASCE 41-17, 2017](#)) para determinar distorsiones de piso para un desempeño de seguridad de vida, por ejemplo.

El amortiguamiento equivalente del pórtico, ξ_p^h , debido al comportamiento histerético, se determina con el sistema bilineal de la estructura equivalente, para el desplazamiento objetivo, d_p , aplicando la expresión de Jacobsen (1930), ver Ec.(1).

$$\xi_p^h = k \, 63,7 \frac{(\mu_p - 1)(1 - r_p)}{\mu_p + \mu_p r_p (\mu_p - 1)} \quad (1)$$

El factor k considera la degradación mecánica de la estructura, un valor de $1/3$ representa un comportamiento pobre en términos de respuesta estructural, ([ATC-40, 1996](#)). El parámetro μ_p representa la ductilidad del sistema equivalente bilineal, obtenida como d_p/d_y , y r_p representa el endurecimiento post-fluencia de la estructura bilineal.

2.2 Proponer el amortiguamiento equivalente del sistema de disipación

El comportamiento del sistema de disipación es representado, al igual que la estructura original, mediante un sistema bilineal. El amortiguamiento equivalente del sistema, ξ_{SD}^h , es determinado en función de la ductilidad adoptada, μ_{SD} , y el endurecimiento post-fluencia, r_{SD} , según aplicación de la Ec. (2). Estos parámetros se deben seleccionar de acuerdo con las características tecnológicas del sistema utilizado.

$$\xi_{SD}^h = 63,7 \frac{(\mu_{SD} - 1)(1 - r_{SD})}{\mu_{SD} + \mu_{SD} r_{SD} (\mu_{SD} - 1)} \quad (2)$$

Si bien la expresión de [Jacobsen \(1930\)](#) genera una sobre estimación del amortiguamiento equivalente del sistema, presenta una forma simple y sencilla de determinar el amortiguamiento.

2.3 Determinar el amortiguamiento equivalente del pórtico + sistema de disipación

Partiendo de un adecuado valor de amortiguamiento elástico de la estructura, (generalmente $\xi_v = 5\%$), se adiciona el amortiguamiento del sistema en paralelo entre el pórtico y el sistema de disipación.

El amortiguamiento del sistema en paralelo, ξ_e , es determinado mediante el concepto de que las constantes de amortiguamiento de dos sistemas en paralelo se suman para obtener el

amortiguamiento del sistema. Considerando que el desplazamiento final de ambos sistemas es el mismo se obtiene la Ec. (3) que presenta el amortiguamiento del sistema completo y cuya deducción es objeto de otra investigación.

$$\xi_e = \xi_v + \frac{\xi_P^h \sqrt{V_P} + \xi_{SD}^h \sqrt{V_{SD}}}{\sqrt{V_P + V_{SD}}} \quad (3)$$

Donde, ξ_P^h representa el amortiguamiento equivalente del pórtico, definido en el punto 2.1 y ξ_{SD}^h representa el amortiguamiento del sistema de disipación, definido en el punto 2.2. V_P es el cortante de la estructura original, definido en el punto 2.1 y V_{SD} el cortante basal del sistema de disipación.

Luego, mediante la aplicación de los principios del método de diseño directo basado en desplazamientos (Priestley, et al., 2007) se determina el período efectivo de la estructura, T_e , ingresando al espectro de desplazamientos con d_P y ξ_e .

2.4 Definir la rigidez y resistencia efectiva del sistema de disipación

En el punto anterior se determinó el periodo efectivo del sistema, T_e , que permite determinar la rigidez efectiva de la estructura equivalente, K_e , mediante la Ec. (4). Siendo la masa efectiva del sistema, m_e , que se determina con la expresión $m_e = \sum m_i \phi_i$. La rigidez efectiva del pórtico se obtiene como $K_{eP} = V_P/d_P$, por tanto, la rigidez equivalente del sistema de disipación, K_{eSD} , mediante la Ec. (5). Estas rigideces efectivas se refieren a la secante al punto de desplazamiento de desempeño, d_P .

$$K_e = 4 \pi^2 m_e / T_e^2 \quad (4)$$

$$K_{eSD} = K_e - K_{eP} \quad (5)$$

El sistema de disipación, representado como una estructura bilineal, permite determinar la resistencia en el punto de desempeño, V_{SD} , y la resistencia al inicio de la plastificación, V_{ySD} , con las Ec. (6) y (7) respectivamente.

$$V_{SD} = K_{eSD} d_P \quad (6)$$

$$V_{ySD} = \frac{V_{SD}}{1 + r_{SD}(\mu_{SD} - 1)} \quad (7)$$

Cabe mencionar que el amortiguamiento equivalente del sistema de disipación depende de la resistencia del sistema, el cual inicialmente es desconocido, por lo tanto, se debe realizar un proceso iterativo hasta lograr la convergencia entre las expresiones (3) y (6). Generalmente son necesarias 2 o 3 iteraciones para encontrar el valor del cortante del sistema de disipación.

2.5 Determinar las propiedades de los dispositivos del sistema de disipación

Conocidas las propiedades del sistema de disipación bilineal y equivalente, resulta necesario determinar las propiedades de resistencia y rigidez de los dispositivos de disipación.

El corte basal, V_{ySD} , es distribuido entre los distintos niveles, Ec. (8), para luego determinar el esfuerzo de corte en cada nivel, V_{yiSD} , con la Ec. (9). La rigidez de cada nivel, K_{iSD} , se determina con el esfuerzo de corte y bajo el concepto de no afectar la forma del primer modo

de vibración, Ec. (10). El desplazamiento de fluencia del sistema de disipación, d_{ySD} , se obtiene como el cociente entre el desplazamiento objetivo, d_P , y la ductilidad, μ_{SD} .

Una vez determinados la resistencia y el corte de cada nivel, se distribuyen entre los distintos elementos disipadores del nivel y con la inclinación que presentan de acuerdo al arreglo geométrico utilizado.

$$F_{y_iSD} = \frac{m_i \phi_i}{\sum_{j=1}^n m_j \phi_j} V_{ySD} \tag{8}$$

$$V_{y_iSD} = \sum_{j=1}^n F_{y_jSD} \tag{9}$$

$$K_{iSD} = \frac{V_{y_iSD}}{(\phi_i - \phi_{i-1})d_{ySD}} \tag{10}$$

3 APLICACIÓN: REFUERZO DE EDIFICIO ESCOLAR

3.1 Presentación de la estructura

La metodología indicada en el punto 2 se utiliza para la rehabilitación de una estructura de uno de los bloques que integran una escuela de la provincia de Mendoza (Argentina), la cual se ubica en la zona de mayor peligrosidad del país. El bloque lateral considerado presenta dos plantas con altura de 3,36 m en cada nivel, de 36,20 m de longitud y 19,70 m de ancho. El sistema resistente a cargas verticales está compuesto por pórticos de hormigón armado en dirección longitudinal y muros de mampostería encadenada en dirección transversal. Considerando la simetría en planta que posee la estructura se analiza el pórtico plano de fachada. En la Figura 1 se presenta la geometría de la estructura y las propiedades de los elementos del pórtico. El peso del edificio es de 11.700 kN y la influencia en el pórtico de estudio de 2000,70 kN. El hormigón de las columnas es H22 y de las vigas H28 con acero de refuerzo del tipo ADN420.

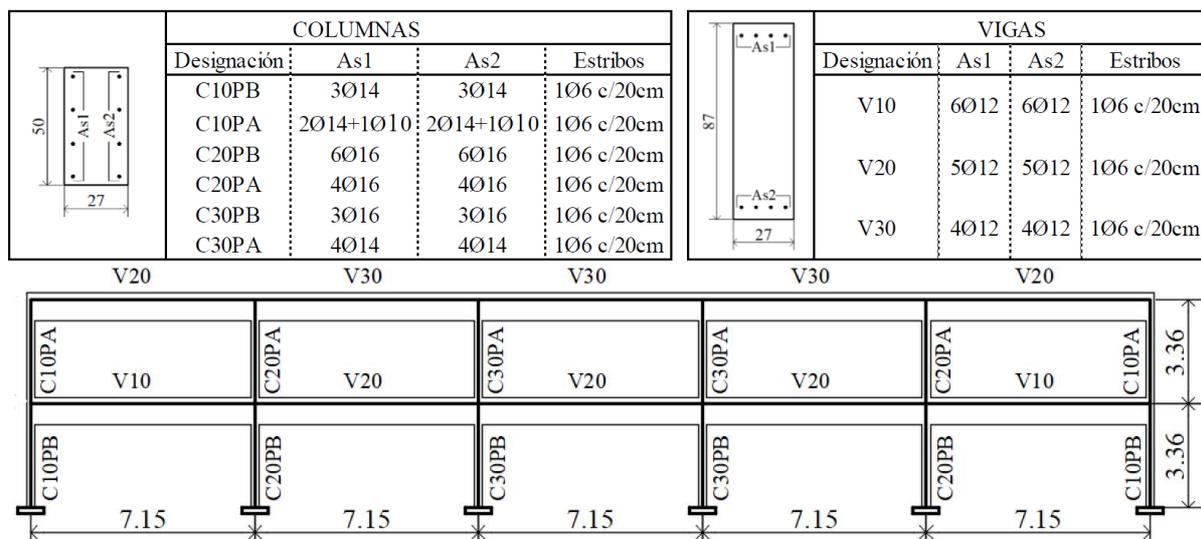


Figura 1. Arriba. Resumen de refuerzos de barras. Abajo. Geometría del pórtico analizado.

3.2 Diseño del sistema de disipación

Dado que la estructura no cumple los requerimientos de las normas actuales sismorresistentes resulta necesario el refuerzo estructural para adecuar el desempeño a los requerimientos actuales (Palazzo, et al., 2019). Se propone un sistema de disipación histerético, del tipo barras de pandeo restringido, de bajo costo, similar al desarrollado por Palazzo (Palazzo, et al., 2015) el cual es diseñado según la metodología propuesta en la sección 2 de este trabajo.

Como primer paso se realiza el análisis estático incremental de la estructura original con patrón de cargas correspondiente al primer modo de vibración. Se utiliza software de código abierto OpenSees (2009) con un modelo de fibras no lineales. En la Figura 2a se presenta la respuesta de la estructura original y la representación de un sistema bilineal, (ASCE 41-17, 2017) y en la Figura 2b se muestra la estructura sustituta de un grado de libertad (Fajfar, 2000). El desplazamiento objetivo adoptado resulta de 58,00 mm que en la estructura de un grado de libertad representa, $d_p = 48,54$ mm. El criterio utilizado para definir el desplazamiento máximo es evitar una distorsión superior a 0,01 en el primer nivel. El factor de participación modal aplicado es $\Gamma = 1,195$.

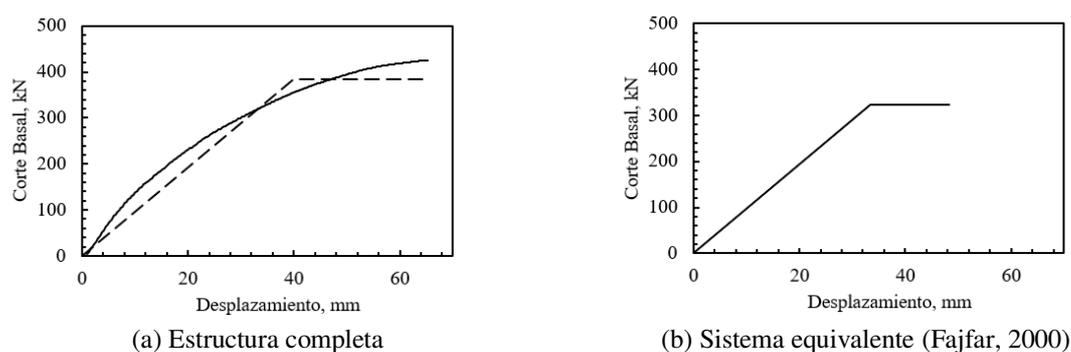


Figura 2. Comportamiento de la estructura original y transformación en estructura de un grado de libertad.

Siguiendo con la metodología desarrollada se adoptan propiedades para el sistema de disipación acorde a lo utilizado habitualmente en la práctica y se determina un amortiguamiento del sistema completo, pórtico + sistema de disipación, de 47,63%, valor obtenido con la Ec. (3).

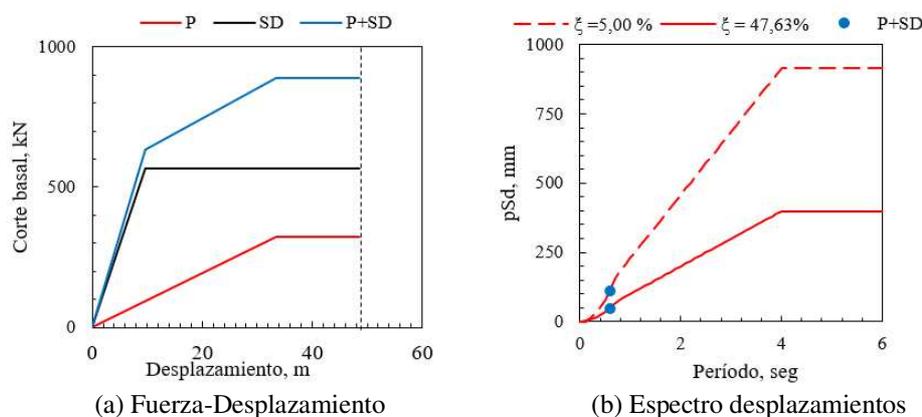


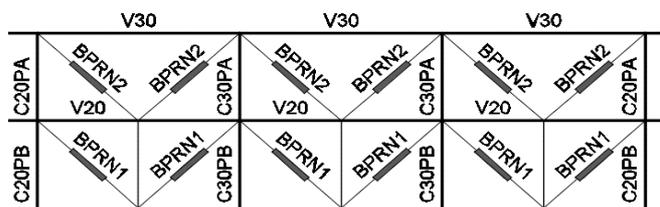
Figura 3. Comportamiento de la estructura equivalente con el sistema de disipación.

En la **Tabla 1** se presentan las propiedades del pórtico, sistema de disipación y conjunto pórtico + sistema de disipación. Los parámetros indicados se obtienen por la aplicación de las expresiones (1) a (7). En la **Figura 3a** se presenta la curva Fuerza-Desplazamiento para el pórtico, para el sistema de disipación y para el conjunto. El espectro de desplazamientos elásticos (INPRES-CIRSOC 103-I, 2013) es reducido de acuerdo con el amortiguamiento adoptado por el método, 47,63%, con la expresión $10/(5+\xi)^{1/2}$ (EC 8-I, 2005). (Figura 3b)

Pórtico	Sistema de Disipación	Pórtico+Sistema Disipación
$V_p = 322.25 \text{ kN}$	$V_{SD} = 568.19 \text{ kN}$	$V_p+V_{SD} = 890.44 \text{ kN}$
$V_{yp} = 322.25 \text{ kN}$	$V_{ySD} = 568.19 \text{ kN}$	$m_e = 160.18 \text{ tons}$
$K_{eP} = 9.63 \text{ kN/mm}$	$K_{eSD} = 11.71 \text{ kN/mm}$	$K_e = 18.34 \text{ kN/mm}$
$d_p = 48.54 \text{ mm}$	$d_p = 48.54 \text{ mm}$	$d_p = 48.54 \text{ mm}$
$d_{yp} = 33.48 \text{ mm}$	$d_{ySD} = 9.71 \text{ mm}$	$T_e = 0.59 \text{ seg}$
$\mu_p = 1.45$	$\mu_{SD} = 5.00$	$\xi_v = 5.00 \%$
$\xi_p^h = 6.52 \%$	$\xi_{SD}^h = 50.96 \%$	$\xi_e = 47.63 \%$

Tabla 1. Propiedades del pórtico, del sistema de disipación y del sistema Pórtico + Sistema de Disipación

Definidas las propiedades del sistema de disipación se distribuyen en planta y elevación de acuerdo con el arreglo mostrado en la **Figura 4a**. En la **Figura 4b** se detallan las propiedades de fuerza y rigidez de cada disipador de acuerdo con la posición en la estructura.



(a) Ubicación del sistema de disipación

Nivel	$h_i, \text{ m}$	N_D	$F_{iSD}, \text{ kN}$
2	3.36	6	339.72
1	3.36	6	228.47

Nivel	$V_{ySD}, \text{ kN}$	$N_i, \text{ kN}$	$k_{ySD}, \text{ kN/mm}$
2	339.72	77.70	27.03
1	568.19	129.96	30.94

(b) Propiedades de los disipadores

Figura 4. Propiedades del sistema de disipación.

3.3 Simulación computacional

Para evaluar la eficiencia de la metodología propuesta la estructura es sometida a un análisis dinámico no lineal. Se utiliza el software de código abierto, **OpenSees (2009)**, empleando un modelo de fibras basado en elementos *NonLinear Force-Beam-Column Elements* para vigas y columnas de hormigón armado y *Truss Elements* para la representación de los sistemas de disipación. A los elementos de hormigón armado se les aplica una sección transversal de fibras de acero y hormigón, con una cantidad de 12 y 200 fibras respectivamente de cada material.

El tipo de material empleado para modelar el acero de refuerzo es *Steel01* y para el hormigón *Concrete02*, mientras que los disipadores son modelados con *Steel02*. En el modelo no se considera la resistencia a tracción del hormigón.

En el sitio donde se sitúa el edificio se pueden presentar terremotos corticales superficiales, con fallas diversas. Considerando que no se cuenta con mapas de fallas, ni con registros con aceleraciones mayores a 0,52g, (INPRES-CIRSOC 103-I, 2013), se seleccionaron registros de la base de datos del FEMA P695 (2009) que cumplen con una magnitud superior a 6, PGA mayor a 0,30g y PGV mayor a 30 cm/s. En la **Figura 5** se presentan los registros seleccionados de la base de datos y las principales características. Con las dos componentes horizontales de

cada registro se construyeron los espectros SRSS (raíz cuadrada de la suma de los cuadrados), (ASCE-7, 2016), para luego ser escalados de acuerdo al reglamento argentino considerando un factor de riesgo de 1,30. En la Figura 5 se presentan los espectros escalados de los registros, el promedio de los mismos y el espectro de diseño del reglamento argentino. Para la evaluación de los disipadores se utiliza el sismo máximo esperado, M_{CER} , que resulta de amplificar 1,5 veces el sismo de diseño (ASCE-7, 2016).

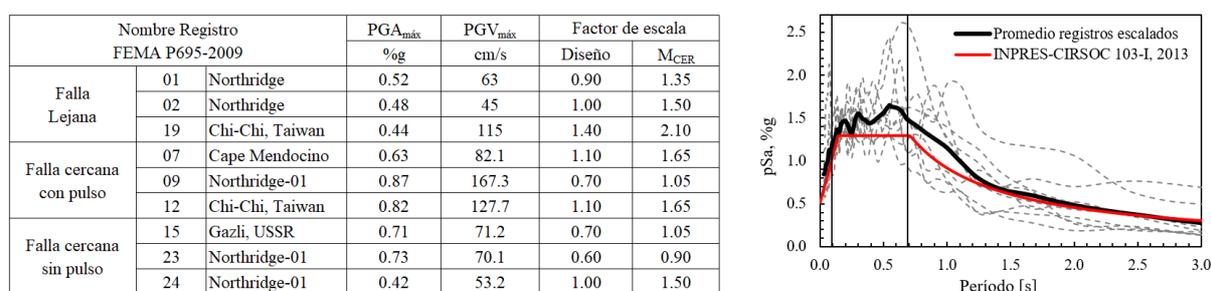


Figura 5. Registros escalados del FEMA P695-2009 utilizados en el análisis no lineal.

El modelo es resuelto mediante el algoritmo de integración de Newmark con $\beta=0,50$ y $\gamma=0,25$. Para la solución se utilizó Newton con una rigidez tangente en cada iteración. La cantidad de puntos de integración fueron 3 para vigas y 5 para columnas. El modelo completo demandó 45 minutos para correr todos los registros.

3.4 Resultados

Se presentan los resultados obtenidos de los 18 registros, (9 sismos de diseño, S_{DS} , y 9 sismos máximos esperados, M_{CER}) para la estructura original, P, y para la estructura con sistema de disipación, P+SD.

En la Figura 6 se presenta la respuesta en desplazamientos. Se observa que la estructura original colapsa para 4 registros S_{DS} y para 7 M_{CER} . Para la estructura con sistema de disipación no se observa colapso. Se ha definido como colapso cuando alguna de las secciones alcanza la deformación del 0,005 en el hormigón.

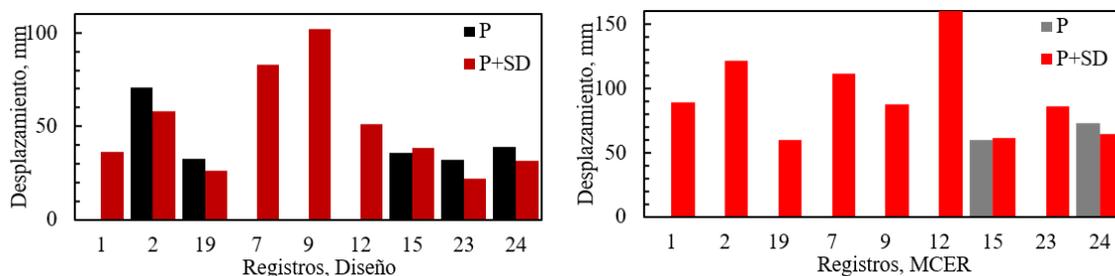


Figura 6. Desplazamientos del pórtico, P y de la estructura rehabilitada, P+SD. Donde no se indica barra se produce el colapso de la estructura original.

En la Figura 7 se compara la respuesta entre P y P+SD. En el caso del pórtico solo se evalúan los registros que no produjeron el colapso de la estructura. Se observa las distorsiones de piso se reducen en ambos niveles, y que la relación entre ambos no se modifica. También se observa que el incremento de carga axial debido a la incorporación del sistema de disipación no supera el 0,20 de $P_u/A_g f'_c$.

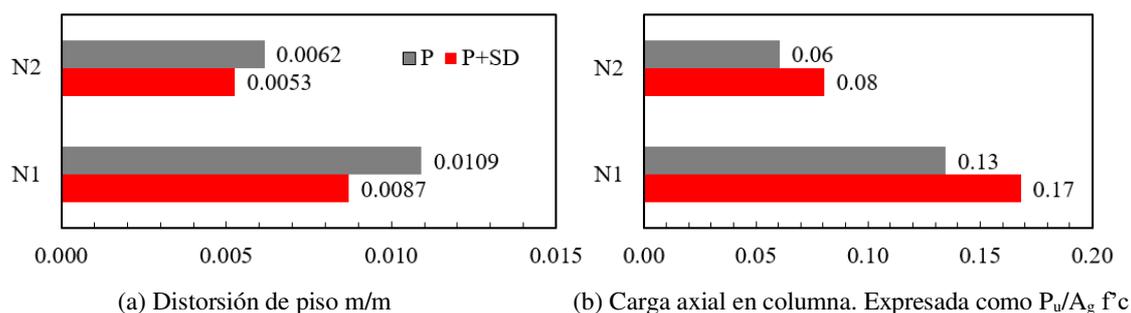


Figura 7. Comparación de la respuesta entre P y P+SD para el promedio de S_{DS} .

En la evaluación del comportamiento de la estructura con el sistema de disipación se obtienen los resultados de la Figura 8. A la izquierda se observan los desplazamientos máximos en la cima de la estructura, para el S_{DS} se alcanza un desplazamiento objetivo promedio de 49,95 mm respecto de los 58,00 mm que se adoptaron como admisibles para el nivel de desempeño. En el caso del M_{CER} el desplazamiento resulta 93,64 mm frente los 87,00 mm previstos. A la derecha se presenta la demanda de ductilidad en cada disipador, 6,46 y 6,05 para el S_{DS} frente a la demanda de 5 considerada en el diseño. Para el caso de M_{CER} las demandas de ductilidad duplican a las obtenidas en el S_{DS} .

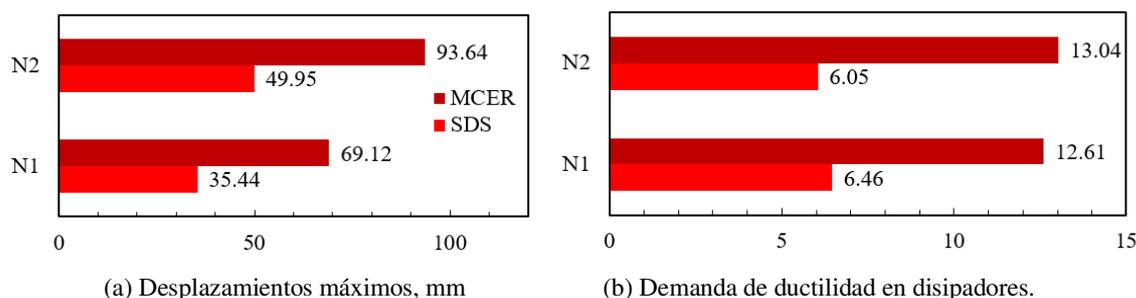


Figura 8. Comportamiento de la estructura P+SD en promedios de S_{DS} y M_{CER}

4 CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un método de diseño basado en desplazamientos para la implementación de sistemas de disipación pasiva en el refuerzo de edificios escolares.

El método propuesto determina las propiedades de rigidez y resistencia del sistema siguiendo los lineamientos del diseño directo basado en desplazamientos propuesto por Priestley.

El método es aplicado al refuerzo de un edificio escolar situado en zona de alta peligrosidad sísmica en la República Argentina. Se realiza un análisis dinámico no lineal con 9 registros característicos de la zona de emplazamiento escalados según el ASCE/SEI 7-16.

El edificio original colapsó para 4 de los 9 registros de diseño, pero cuando se incorporó el sistema de disipación se logró buen desempeño en todos los registros.

El desplazamiento máximo promedio de la estructura resultó un 15% menor que el estimado, manteniendo la forma del primer modo de vibrar. Igual relación se observó para las distorsiones de pisos. El incremento de carga axial en columnas extremas del sistema de disipación fue del 30%, con lo cual no se alcanzó el 20% de la resistencia nominal de la columna.

Las demandas de ductilidad en el sistema de disipación resultaron un 20% superior a las estimadas en el diseño.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación de la

Universidad Tecnológica Nacional ECIFNME0004491 “implementación de sistemas con disipación pasiva de energía para el refuerzo de escuelas en zona sísmica diseñadas con reglamentos antiguos”. Los autores agradecen al soporte económico de la UTN, en especial al Programa de Becas Doctorales y Becas de Iniciación y Desarrollo.

REFERENCIAS

- ASCE 41-17. *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, USA: American Society of Civil Engineers. 2017
- ASCE-7. *Minimum design loads for buildings and other structures.*, Reston, Virginia, EEUU: American Society of Civil Engineers. 2016
- ATC-40. *Applied Technology Council (1996). " Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, volume 1"*, California: Report: SSC 96-01, Seismic Safety Commission. 1996
- Bergami, A. & Nutti, C. *Design of dissipative braces for an existing strategic building with a pushover based procedure.* Grecia. 2013
- EC 8-I. *Structure in seismic regions – Design. Part 1, General and Building.* Belgica: Commission of European Communities. 2005
- Fajfar, P. A nonlinear analysis method for performance based seismic design.. *Earthquake Spectra*, p. 16(3):573–592, 2000.
- FEMA-P695. *Quantification of building seismic performance factors*, Washington: Federal Emergency Management Agency Publication. 2009
- INPRES-CIRSOC 103-I. *Reglamento argentino para construcciones sismorresistente. Construcciones en general.* Bs. As.: INTI. 2013
- Jacobsen, L. S. Steady forced vibrations as influenced by damping. *ASME Transactione*, pp. 52;(169-181), 1930
- Kim, J. & Choi, H. Behavior and design of structures with buckling-restrained braces. *Eng. Struct.*, pp. 26(6): 693-706, 2004
- Lin, Y., Tsai, M., Hwang, J. & Chang, K. Direct displacement-based design for building with passive energy dissipation systems.. *Eng. Struct.*, pp. 251, 25-37, 2003.
- Mazza, F. & Vulcano, F. Displacement-based design procedure of damped braces for the seismic retrofitting of r.c. framed buildings. *Bulletin Earthquake Engineering*, p. (13):2121–2143, 2015
- Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. & Fenves, G. *Open System for Earthquake Engineering Simulation: User Command-Language Manual.* California, USA, 2009
- Palazzo, G., Bay, C., Guzmán, M., Roldán, V. y Calderón, F. *Disipadores de energía para la rehabilitación de edificios escolares*, Valdivia, Chile: ACHISINA, 2019
- Palazzo, G., Martín, P., Calderón, F., Roldán, V. y Lopez-Almanza, F. Numerical Study of the Seismic Efficiency of Buckling-Restrained Braces for Near and Far-Fault Inputs. *The Open Civil Engineering Journal*, Volumen 9, pp. 281-294, 2015
- Ponzo, F., Dolce, M., Vigoriti, G., Arleo, G. y Di Cesare, A. *Progettazione di controventi dissipativi a comportamento dipendente dagli spostamenti.* Bologna, Italia, 2009
- Priestley, M. Myths and fallacies in earthquake engineering – conflicts between design and reality.. *NZ National Society for Earthquake Engineering*, p. (3):26, 1993
- Priestley, M., Kowalsky, M. & Calvi, M. *Displacement Based Seismic Design Of Structure.* Pavia, Italia(Pavia): IUSS Press, 2007