

DISEÑO PRELIMINAR DE DISIPADORES DE ENERGÍA, POR FLUENCIA DE METAL, EN PÓRTICOS DE HORMIGÓN ARMADO SISMORRESISTENTES

Ing. Civil Marcelo Rubinstein

**Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE), FCEIA, UNR
Rosario – Argentina**

Profesor Titular de Análisis Estructural, FCEIA, UNR. Jefe del Laboratorio de Estructuras de IMAE. Consultor Estructural.
Socio vitalicio de la Asociación de Ingenieros Estructurales.

Ing. Civil Oscar Möller

**Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE), FCEIA, UNR
Rosario – Argentina**

Doctor en Ingeniería, Profesor Titular de Hormigón Armado,
Investigador “B” del Consejo de Investigaciones UNR.

Ing. Civil Alejandro Giuliano

**Instituto Nacional de Prevención Sísmica
San Juan – Argentina**

Director Nacional INPRES. Profesor Titular de Estructuras Especiales, Facultad de Ingeniería, UNSJ. Coordinador del Nuevo Reglamento INPRES-CIRSOC 103, Parte II y Parte IV. Socio Plenario de la Asociación de Ingenieros Estructurales.

Raúl Aira

**Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE), FCEIA, UNR
Rosario – Argentina**

Alumno de 5to año de Ingeniería Civil,
Auxiliar de Investigación, IMAE, FCEIA, UNR.

Resumen

Se presenta una metodología de diseño preliminar para control pasivo de pórticos sismorresistentes mediante disipadores de energía por fluencia de metal. Comienza por determinar la capacidad del sistema mediante un diagrama push-over simplificado. Al diagrama del pórtico, obtenido por técnicas de trabajos anteriores, se adiciona el del sistema de disipadores que se diseñan para que aporten una fracción adecuada del corte basal y entren en fluencia simultáneamente.

La segunda parte consiste en calcular la demanda, utilizando el desplazamiento de fluencia de los disipadores y el corte basal promedio entre los correspondientes a la fluencia de los disipadores y del pórtico. Con dichos parámetros, del espectro de diseño (YPS) se obtiene la ductilidad requerida que permite calcular el desplazamiento máximo. Finalmente se comprueba si se satisfacen los requisitos establecidos: respuesta elástica del pórtico y distorsión máxima de piso 0,7%.

Como ejemplo se presenta un pórtico de una construcción en la ciudad de Mendoza. Los resultados son comparados con los obtenidos mediante análisis no lineal, estático y dinámico.

Abstract

A methodology of preliminary design for passive control in moment frames applying metal yielding energy dissipation devices is developed. First, the capacity of the system is determined by a simplified pushover curve. To this aim, the capacity curve of the frame is obtained based on previous studies. Then, the capacity of the damping system which is designed to absorb an adequate fraction of the base shear by simultaneous yielding, is added.

The second phase is the evaluation of the demand. With the dissipation devices yield displacement and the average base shear between the devices and the frame, required ductility is obtained from yield point spectra. Finally, the estimated displacement demand is compared with prescribed acceptance criteria: elastic response for the frame and maximum story drift index of 0,7%.

The presented methodology is applied to a frame designed for Mendoza city and the results are compared with those obtained by non linear static and dynamic analysis.

1. INTRODUCCIÓN

En el proyecto de una construcción sismorresistente resulta necesario, como primer paso, el diseño preliminar el que incluye como aspecto básico e importante la propuesta del sistema estructural y a continuación la evaluación aproximada, mediante cálculos sencillos, de la respuesta en desplazamientos debido a los sismos de diseño. Sobre este tema existen diversos antecedentes^{1,2,3,4,5} en los que se encuentran maneras de evaluar parámetros de interés tales como ductilidad requerida, índice de daño, distorsiones de piso, etc.

Desde hace aproximadamente tres décadas se han desarrollado, dentro del marco conocido como “control pasivo de estructuras sismorresistentes” diversos sistemas que disipan energía accionados por la estructura sobre la que se encuentran instalados⁶. Estas técnicas significan una mejora esencial en el diseño de estructuras sismorresistentes debido a que el daño originado por la disipación de energía se trata de transferir de la estructura a dispositivos que pueden ser reemplazados. Existen diversas aplicaciones a rehabilitación o mejora de estructuras existentes o al proyecto de nuevas estructuras con control. Surge entonces naturalmente la necesidad de desarrollar metodologías que permitan realizar el diseño preliminar de estructuras sismorresistentes con control pasivo, mediante disipadores de energía, con el objetivo de lograr evaluar, mediante cálculos claros y sencillos, con aceptable aproximación, la respuesta frente a los sismos de diseño.

En este trabajo se presenta un procedimiento de diseño preliminar aplicable a pórticos con disipadores de energía por fluencia de metal, activados por las distorsiones de piso^{6,7,8}. En primer lugar se determina la capacidad del sistema pórtico-disipadores más brazos de instalación expresada mediante un diagrama de push-over simplificado, obtenido por adición de los respectivos diagramas de push-over de cada parte. Para el pórtico se aplica un procedimiento ya desarrollado⁹, por otra parte los disipadores se diseñan para que aporten una fracción relativamente importante del corte basal del sistema, del orden de la tercera parte o más, y para que entren en fluencia simultáneamente, con comportamiento elástico de los brazos de instalación. Con estas premisas mediante cálculos sencillos se determina el respectivo diagrama de push-over.

Luego se calcula la demanda, utilizando el desplazamiento de fluencia en la cima, correspondiente a la entrada en fluencia de los disipadores y el corte basal, por unidad de peso efectivo en el primer modo, promedio entre los valores correspondientes a la fluencia de los disipadores y del pórtico. Con estos parámetros, del espectro de diseño, con el formato de diagramas de capacidad o espectros de punto de fluencia, YPS¹⁰, se obtiene la ductilidad requerida, al sistema de disipadores, que permite calcular el desplazamiento máximo en la cima.

Con este dato se comprueba si se satisfacen los requisitos establecidos para el diseño, para los que, de acuerdo a criterios actuales^{7,11}, se adoptó: respuesta elástica del pórtico y distorsión máxima de piso 0,7 %.

A continuación se presenta la metodología de diseño preliminar. Luego, como ejemplo, se muestra la aplicación a un pórtico de cinco pisos de una construcción supuestamente ubicada en la ciudad de Mendoza, comparando los resultados con los obtenidos utilizando análisis no lineal, estático y dinámico. Se comprueba que el procedimiento propuesto es confiable y de aplicación sencilla y se

obtienen conclusiones que permiten sugerir mejoras para lograr mayor precisión en los resultados.

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

2.1. Capacidad del sistema pórtico-disipadores más brazos de instalación.

La capacidad del sistema pórtico-disipadores más brazos de instalación se expresa mediante el correspondiente diagrama de push-over, corte en la base vs. desplazamiento en la cima. Este diagrama se obtiene por superposición de los respectivos diagramas push-over de cada una de las partes: pórtico y disipadores más brazos de instalación.

- Diagrama push-over del pórtico:

Se adopta un mecanismo dúctil con rótulas plásticas en los extremos inferiores de las columnas del primer piso y en los extremos de vigas hasta aproximadamente las dos terceras partes de la altura del pórtico. El momento flector de fluencia en cada rótula se calcula como el producto de la curvatura de fluencia por la rigidez a flexión. La curvatura de fluencia se determina a partir de la geometría de la sección recta de la barra y de la deformación de fluencia de la armadura longitudinal¹² y para la rigidez a flexión se utilizan valores reglamentarios del momento de inercia¹³, que tienen en cuenta la fisuración. Luego el corte en la base se calcula aplicando el Principio de los Trabajos Virtuales sobre el mecanismo adoptado.

Por otra parte la rigidez global, correspondiente a corte en la base vs. desplazamiento en la cima se determina cargando al pórtico con carga triangular invertida de resultante unitaria y con la mencionada rigidez a flexión para sus barras.

Detalles sobre este procedimiento se encuentran en trabajos anteriores^{9,14} la Figura 1 se muestra el diagrama push-over del pórtico, simplificado en forma bilineal, siendo V_{yp} y D_{yp} el corte basal y el desplazamiento en la cima correspondientes a la fluencia.

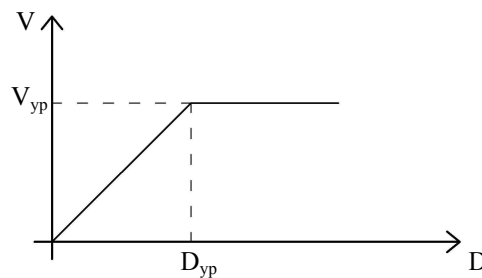


Fig. 1 Diagrama push-over del pórtico.

- Diagrama push-over de los disipadores y brazos de instalación:
En la Figura 2 se indica el modelo matemático del sistema disipadores y brazos de instalación:

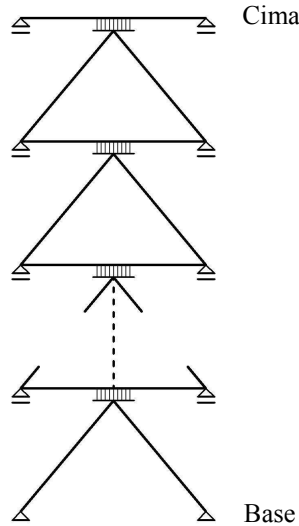


Fig. 2 Sistema disipadores y brazos de instalación.

Contribución de los disipadores:

Para disipador por fluencia de metal, con módulo de elasticidad E , con deformación específica de fluencia ε_y y conformado con N chapas triangulares, de espesor h , con dimensiones para la base y la altura W_o y L , respectivamente, el desplazamiento de fluencia y el esfuerzo de corte correspondiente son⁶:

$$\Delta_{yd} = \frac{\varepsilon_y L^2}{h} \quad (1)$$

$$F_{yd} = \frac{NEW_o h^3}{6L^3} \Delta_{yd} \quad (2)$$

Resulta conveniente que los disipadores entren en fluencia simultáneamente, esto se puede lograr adoptando el número N de chapas en cada piso proporcional al esfuerzo de corte correspondiente y manteniendo las características W_o , L y h constantes para todos los pisos. Para ello se supone que el esfuerzo de corte en cada piso resulta de la aplicación de fuerzas horizontales distribuidas en altura con la conocida ley de los métodos estáticos reglamentarios y que, con buena aproximación, mientras los disipadores se mantienen elásticos el esfuerzo de corte es transmitido por el sistema disipadores más brazos de instalación.

Luego, cuando los disipadores entran en fluencia, siendo N_p la cantidad total de pisos, el desplazamiento en la cima resulta:

$$D_{yd}^d = N_p \cdot \Delta_{yd} \quad (3)$$

Contribución de la deformación de vigas y de los brazos de instalación:

En la Figura 3 se observa, para un piso genérico j las fuerzas que llegan al disipador, F_{dj+1} originada en pisos superiores y transmitida por los brazos de instalación y F_j originada en el piso j .

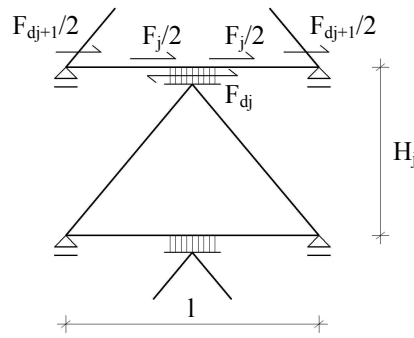


Fig. 3 Fuerzas que llegan a un disipador genérico.

Por equilibrio, resulta:

$$F_{dj} = 2 \left(F_{dj+1} / 2 + F_j / 2 \right) \quad (4)$$

la mitad de F_{dj} llega al disipador por el tramo traccionada de la viga y la otra mitad llega por el tramo comprimido.

Se calcula la deformación del tramo traccionado de la viga mediante la deformación a tracción de su armadura y se desprecia la deformación del tramo comprimido. Resulta:

$$\frac{F_{dj}}{2} \frac{0,5 l}{EA} = \frac{F_{dj}}{EA} \frac{l}{4} \quad (5)$$

Siendo EA la rigidez axial de la armadura traccionada.

Cuando el disipador entra en fluencia, se elige:

$$\frac{F_{ydj}}{EA} = p_v \varepsilon_{fv} \quad (6)$$

Donde: ε_{fv} es la deformación de fluencia de la armadura de la viga y p_v es un porcentaje adecuado, por ejemplo 20 %, para el estado de fisuración de la viga.

Luego la contribución de la deformación de las vigas, del total de los pisos, al desplazamiento en la cima, cuando los disipadores llegan a fluencia, vale:

$$p_v \varepsilon_{fv} \frac{l}{4} N_p \quad (7)$$

En la Figura 4 se observa el desplazamiento horizontal u_b debido a la deformación de los brazos de instalación, para el entrepiso genérico j , en correspondencia con la entrada en fluencia del disipador:

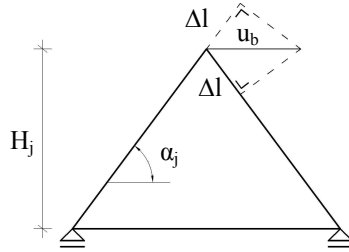


Fig. 4 Desplazamiento horizontal genérico debido a la deformación de los brazos de instalación

Esfuerzo axil en cada brazo:

$$S_j = \frac{F_{y dj}}{2 \cos \alpha_j} \quad (8)$$

Deformación axil de cada brazo:

$$\Delta l = \frac{S_j H_j}{EA \sen \alpha_j} \quad (9)$$

Donde EA es la rigidez axial correspondiente.

Desplazamiento horizontal:

$$u_b = \frac{\Delta l}{\cos \alpha_j} \quad (10)$$

De las ecuaciones (9) y (10), resulta:

$$u_b = \frac{H_j}{\sen \alpha_j \cos \alpha_j} \frac{S_j}{EA} \quad (11)$$

Los brazos de instalación, metálicos, se diseñan tal que:

$$\frac{S_j}{EA} = p_b \varepsilon_{fb} \quad (12)$$

Donde: ε_{fb} es la deformación axil específica de fluencia del acero correspondiente y p_b un porcentaje bajo, por ejemplo 20 %, para obtener un desplazamiento en la cima relativamente bajo, en correspondencia con la entrada en fluencia de los disipadores, con respecto al desplazamiento en la cima D_{yp} correspondiente a la fluencia del pórtico y facilitar así la disipación de energía mientras el pórtico se encuentra en el período elástico.

Luego, de acuerdo con las ecuaciones (7), (11) y (12), la contribución al desplazamiento en la cima debido a la deformación de vigas y brazos de instalación, resulta:

$$D_{yd}^b = p_v \varepsilon_{fv} \frac{l}{4} N_p + p_b \varepsilon_{fb} \sum_{j=1}^{N_p} \frac{H_j}{\sin \alpha_j \cos \alpha_j} \quad (13)$$

En la Figura 5 se indica el diagrama push-over de los disipadores y brazos de instalación:

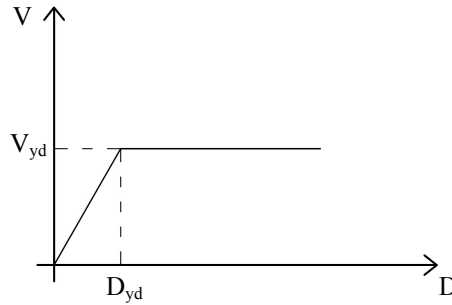


Fig. 5 Diagrama push-over de los disipadores y brazos de instalación

En la Figura 5 es:

$$D_{yd} = D_{yd}^d + D_{yd}^b \quad (14)$$

Donde: D_{yd}^d según ecuaciones (3) y (1) y D_{yd}^b según ecuación (13).

Por otra parte, V_{yd} es igual a F_{yd} , ecuación (2), para el primer piso.

- Diagrama push-over del sistema pórtico-disipadores más brazos de instalación:

En la Figura 6 se muestra el push-over del sistema compuesto y el de cada componente.

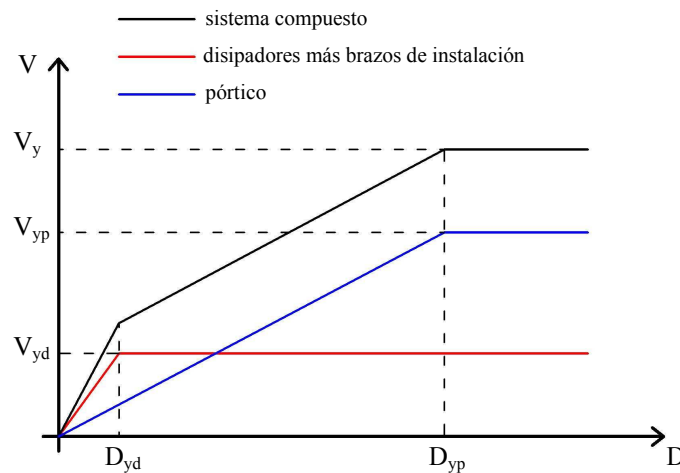


Fig. 6 Diagramas push-over

La resistencia del sistema compuesto, expresada por el corte en la base último es igual a la suma de las resistencias de los componentes:

$$V_y = V_{yp} + V_{yd} \quad (15)$$

El sistema disipadores y brazos de instalación es el que primero agota su resistencia y disipa energía antes que en el pórtico se establezca un mecanismo de fluencia.

2.2. Demanda y requisitos.

Resulta conveniente expresar la demanda mediante espectros de diseño, con el formato de diagramas de capacidad o espectros de punto de fluencia, YPS¹⁰, tal como el utilizado, más adelante, en el ejemplo.

De acuerdo con el objetivo del Control Pasivo, concentrar el daño en los disipadores y evitarlo en la estructura principal, y a criterios actuales^{7,11} los requisitos establecidos para el diseño fueron: respuesta elástica del pórtico y distorsión máxima de piso 0,7 %.

2.3. Verificación.

En la Figura 6 se observa que el sistema disipadores y brazos de instalación disipa energía a partir del desplazamiento de fluencia D_{yd} , mientras el pórtico permanece elástico, en el intervalo $D_{yd} - D_{yp}$.

Para verificar si se satisfacen los requisitos se calcula el desplazamiento máximo requerido. Para ello, utilizando el espectro de diseño, se determina la ductilidad requerida a dicho sistema μ_r , empleando los siguientes parámetros de entrada. El desplazamiento D_{yd} , transformado al modelo equivalente de un grado de libertad, para lo cual se utiliza la configuración del primer modo, supuesta proporcional a la altura y la resistencia promedio, en el intervalo mencionado, expresada por unidad de peso efectivo en el primer

modo. Este parámetro es igual para el sistema disipadores más brazos de instalación que para el sistema total pórtico-disipadores más brazos de instalación porque se supone que el peso efectivo en el primer modo que corresponde a dicha parte es un porcentaje del total igual al de la respectiva participación en el corte basal. En consecuencia se calcula utilizando los valores del corte basal correspondientes al sistema total, V_y y

$$V = V_{yd} + V_{yp} \frac{D_{yd}}{D_{yp}} \quad (16)$$

y la totalidad del peso efectivo en el primer modo.
Luego el desplazamiento máximo requerido, en la cima, resulta:

$$D_r = \mu_r \cdot D_{yd} \quad (17)$$

De acuerdo con los requisitos establecidos, se debe cumplir:

$$D_r \leq D_{yp} \quad (18)$$

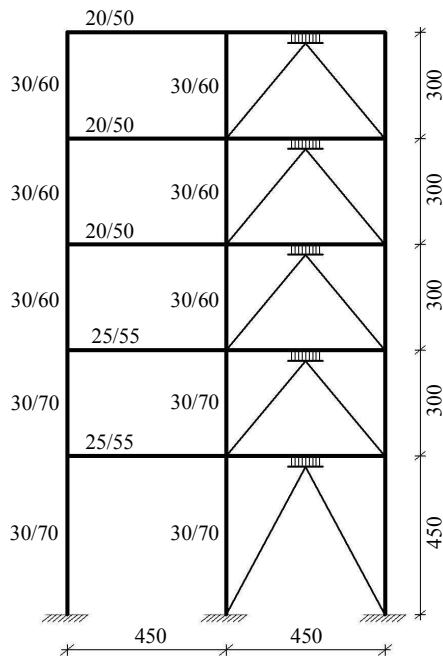
$$\frac{D_r}{H} \leq 0,7 \% \quad (19)$$

Donde H es la altura del pórtico.

Si estas condiciones no se satisfacen se deberá corregir el diseño aumentando resistencias, para disminuir la ductilidad requerida, o proyectando un pórtico más flexible, para aumentar D_{yp} .

3. EJEMPLO

En la Figura 7 se muestra el pórtico genérico, de un sistema sismorresistente formado por cuatro pórticos, y el sistema de disipadores resultante de aplicar el diseño preliminar.



Notas

1. Masa en cada nivel:
 $m = 123,85 \text{ KN seg}^2/\text{m}$
2. Carga gravitacional en cada nivel:
 permanente: 8 KN/m^2
 sobrecarga: 2 KN/m^2
 factor de mayoración de la sobrecarga: $f_1 = 0,50$
3. Materiales:
 Según CIRSOC 201:
 Hormigón: H-25.
 Acero: ADN 420
4. Medidas en cm.
5. Medidas indicadas de las secciones rectas de las barras del pórtico: espesor/altura
6. Disipadores
 Material: Acero F-24
 Geometría: $L = 200 \text{ mm}$
 $W_o = 133 \text{ mm}$
 $h = 36,1 \text{ mm}$
 Número de chapas:
 $N = 10, 9, 8, 6 \text{ y } 3$
 del 1° al 5° piso
7. Brazos de instalación
 Piso 1: 2 PN U 20
 Piso 2: 2 PN U 16
 Piso 3: 2 PN U 14
 Piso 4: 2 PN U 12
 Piso 5: 2 PN U 12
 Forma genérica: tubular

Fig. 7 Pórtico y sistema de disipadores

3.1. Capacidad

La Figura 8 corresponde a los diagramas push-over, corte basal vs. desplazamiento en la cima, del pórtico, de los disipadores más brazos de instalación y del conjunto.

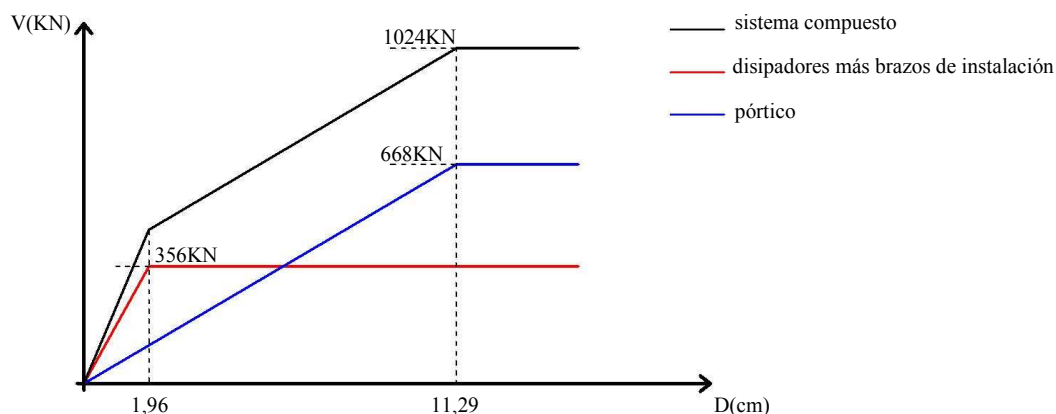


Fig. 8 Diagramas push-over

Este diagrama es representativo de la capacidad del sistema y, por ejemplo, en él se puede observar el intervalo entre los desplazamientos de fluencia, en la cima, del sistema de disipadores más brazos de instalación y del pórtico (1,96 cm – 11,29 cm), en el que es posible la disipación de energía con comportamiento elástico del pórtico.

3.2. Demanda

En la Figura 9 se encuentra el espectro de diseño en el formato de punto de fluencia o YPS. Para su construcción se consideraron sismos raros, con intervalo medio de recurrencia $T = 475$ años y probabilidad de excedencia de 10 % en 50 años. Se utilizaron nueve acelerogramas deducidos de un estudio de microzonificación sísmica para la ciudad de Mendoza¹⁵ y de los correspondientes espectros de respuesta se determinó el espectro de diseño mediante el valor medio más un desvío standard. Se obtuvo la respuesta inelástica, asociada a distintos niveles de ductilidad.

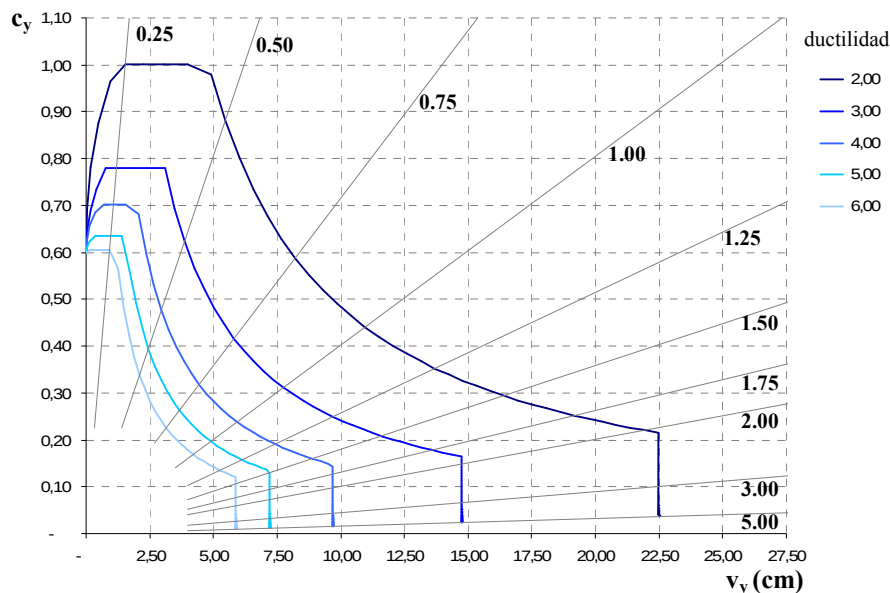


Fig. 9 Espectro de punto de fluencia

A partir del diagrama de push-over, según lo indicado en 2.3., se calculan los parámetros de entrada al espectro YPS.

Como resultado se obtiene la ductilidad requerida: $\mu_r = 5,50$.

3.3. Verificaciones

El desplazamiento requerido en la cima resulta:

$$D_r = \mu_r D_{yd} = 5,50 \cdot 1,96 \text{ cm} = 10,78 \text{ cm}$$

Se verifica: $D_r < D_{yp} = 11,29 \text{ cm}$.

El pórtico se mantiene en el período elástico.

La distorsión de piso resulta:

$$\frac{11,29 \text{ cm}}{1650 \text{ cm}} = 0,65 \% < 0,7 \% : \text{distorsión admisible}$$

4. VERIFICACIONES INELÁSTICAS

Utilizando software para análisis no lineal estático y dinámico^{8,16}, habiendo diseñado las armaduras del pórtico aplicando el Método de Diseño por Capacidad¹³, se obtuvieron resultados con el objetivo de verificar los obtenidos con el diseño preliminar.

En la Figura 10 se comparan los diagramas push-over. Se observa que el diseño preliminar resulta aceptablemente aproximado, del lado de la seguridad, con respecto al del análisis no lineal. La diferencia puede asignarse a una subvaloración en la rigidez a flexión del hormigón fisurado.

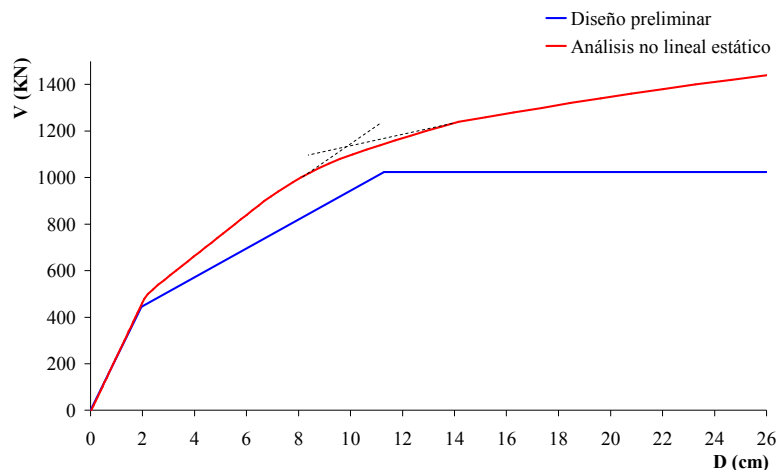


Fig. 10 Comparación de diagramas push - over

Para el análisis dinámico no lineal se emplearon ocho acelerogramas, conjunto usado para la construcción del espectro de diseño. Los resultados obtenidos correspondientes al valor medio más un desvío standard fueron:

Desplazamiento máximo en la cima: 8,05 cm

Distorsión máxima de piso (3^{er} nivel): 0,64 %

Distorsión de piso media: 8,05 cm/1650 cm = 0,49 %

Los respectivos valores obtenidos con el diseño preliminar son: 10,78 cm y 0,65 %.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un método de diseño preliminar aplicable a pórticos de hormigón armado sismorresistentes implementados con disipadores de energía, por fluencia de metal.

El procedimiento de diseño propuesto resulta conceptualmente claro y requiere pocas y sencillas operaciones. Se distinguen dos etapas en las que se determinan respectivamente la capacidad del sistema pórtico-disipadores más brazos de instalación, mediante el diagrama push-over, y la demanda sísmica requerida, expresada en términos del desplazamiento máximo en la cima y la distorsión de piso correspondiente. Con estos valores se verifican si se cumplen objetivos adoptados para el diseño: comportamiento elástico del pórtico y distorsión de piso inferior a 0,7 %.

El ejemplo de aplicación realizado, consistente en el diseño preliminar de un pórtico sismorresistente de cinco pisos, controlado mediante disipadores por fluencia de placas de acero triangulares, ha permitido comprobar la efectividad del método. Los resultados fueron comparados con los obtenidos aplicando análisis no lineal, estático y dinámico y pueden considerarse aceptables para diseño preliminar. Queda como futura mejora disminuir diferencias entre los respectivos diagramas push-over, atribuibles en principio a una valoración por defecto de la rigidez a flexión del hormigón fisurado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad Nacional de Rosario y al Instituto Nacional de Prevención Sísmica, por el apoyo recibido para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

1. Priestlye, M.J.N. (1993), "Myths and fallacies in earthquake engineering – Conflicts between design and reality", Proceedings of the Tom Paulay Symposium "Recent developments in lateral force transfer in buildings", California.
2. Paulay, T. (2002), "An estimation of displacement limits for ductile systems", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31, 583-599.
3. Bertero, R.D. (1996), "Diseño sismorresistente basado en la performance", Memorias X Jornadas Argentinas de Hormigón Pretensado y XV Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural.
4. Giuliano, A.P., Martínez, M., Rubinstein, M. y Möller, O. (2003), "Diseño preliminar de sistemas estructurales sismorresistentes", Memorias XI Seminario Iberoamericano de Ingeniería Sísmica y 6-EIPAC.
5. Rubinstein, M., Möller, O. and Giuliano A.P. (2004), "Preliminary design and inelastic verification of earthquake – resistant structural systems", Proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada.
6. Soong, T.T. and Dargush, G.F. (1997), "Passive Energy Dissipation System in Structural Engineering", John Wiley & Sons Ltd.
7. Bozzo, L.M. y Barbat, A.H. (2000), "Diseño sismorresistente de edificios. Técnicas convencionales y avanzadas", Editorial Reverté S.A.
8. Ascheri, J.P., Rubinstein, M. y Möller, O. (2006), "Diseño de control pasivo de pórticos sismorresistentes de varios pisos aplicando resultados de control activo predictivo", Memorias XIX Jornadas AIE.
9. Rubinstein, M., Giuliano, A.P. y Möller, O. (2006), "Diseño preliminar de estructuras sismorresistentes: un tratamiento unificado de los efectos traslacionales y rotacionales", Memorias XIX Jornadas AIE.
10. Ascheim, M. and Black, E.F. (2000), "Yield point spectra for seismic design and rehabilitation", Earthquake Spectra, 16:2.
11. Kasai, K. and Ito, H. (2004), "JSSI Manual for building passive control technology. Part. 8 Peak response evaluation and design for elastically damped system", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada. Paper N° 5060.
12. Priestlye, M.J.N. (1998), "Brief comments on elastic flexibility of reinforced concrete frames and significance to seismic design", Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, 31, N° 4.
13. INPRES, CIRSOC (2000), Proyecto de Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes, Parte II, Construcciones de Hormigón Armado.
14. Rubinstein, M., Möller, O. and Giuliano A.P. (2007), "Preliminary design and inelastic assessment of earthquake-resistant structural systems", Structural Engineering and Mechanics, Vol. 26, N° 3.
15. INPRES (1995), "Microzonificación Sísmica del Gran Mendoza", Publicación Técnica N° 19.

16. Möller, O. (2001), "Metodología para evaluación de la probabilidad de falla de estructuras sismorresistentes y calibración de códigos", Tesis de Doctorado en Ingeniería, Universidad Nacional de Rosario.