

DISEÑO PRELIMINAR DE TABIQUES SISMORRESISTENTES ACOPLADOS CON BRAZOS DE INSTALACIÓN Y DISIPADORES DE ENERGÍA

Marcelo Rubinstein, Oscar Möller, Juan P. Ascheri, Raúl Aira

Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE), Universidad Nacional de Rosario, Riobamba y Berutti, 2000 Rosario, Argentina, marub@fceia.unr.edu.ar

Palabras Clave: Diseño preliminar, tabiques sismorresistentes, disipadores, energía.

Resumen. En el marco del control pasivo de estructuras sismorresistentes y con sus objetivos de evitar el daño en las mismas, concentrándolo en dispositivos reemplazables, y minimizarlo en los componentes no estructurales, una aplicación interesante consiste en vincular tabiques de hormigón armado acoplados mediante brazos de instalación metálicos y disipadores de energía por fluencia de metal, accionados por el esfuerzo rasante que se establece en dicho conjunto.

Para la realización del correspondiente anteproyecto, en este trabajo se consigue extender la aplicación de una metodología de diseño preliminar utilizada en pórticos y en tabiques adosados con disipadores de energía por fluencia de metal.

El primer paso consiste en expresar la capacidad del conjunto tabiques-brazos de instalación-disipadores mediante el correspondiente diagrama push-over, corte basal vs. desplazamiento en la cima. Para su construcción se utilizan datos disponibles en etapa de anteproyecto, se adoptan disipadores que aportan aproximadamente una tercera parte del corte basal y se aplican conceptos que han sido validados mediante análisis estático no lineal.

Luego se calcula la demanda. Aplicando adecuados parámetros del diagrama push-over y el espectro de diseño sísmico no lineal en formato punto de fluencia, se determina la ductilidad requerida a los disipadores y el desplazamiento correspondiente. Con dicho desplazamiento se verifica el cumplimiento de los requisitos de diseño: comportamiento de los tabiques en el período elástico y distorsión de piso menor a 0,7 %.

Se presenta un ejemplo de aplicación correspondiente a una construcción de cinco pisos ubicada en la ciudad de Mendoza y la verificación de sus resultados, aplicando análisis no lineal estático y dinámico, mediante el Método de los Elementos Finitos, con software específicamente desarrollado.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, para el proyecto de estructuras sismorresistentes, o para la rehabilitación de construcciones en zonas sísmicas, un importante recurso es el control pasivo (Soong and Dargush, 1997) de la respuesta estructural, utilizando disipadores de energía. El propósito es concentrar el daño en dichos dispositivos que son reemplazables y evitarlo en la estructura principal.

Por otra parte para el proyecto de estructuras sismorresistentes es útil disponer de métodos de diseño preliminar que permitan, con claridad conceptual y pocas y sencillas operaciones, calcular con buena aproximación la respuesta estructural y verificar el cumplimiento de los requisitos impuestos.

Una estructura plana sismorresistente, con control pasivo, aplicable al proyecto de una nueva construcción o a la rehabilitación, consiste en tabiques de hormigón armado acoplados con brazos de instalación y disipadores de energía por fluencia de placas de metal, accionadas por esfuerzo rasante (Bozzo y Barbat, 2000), como se muestra en la Figura 1.

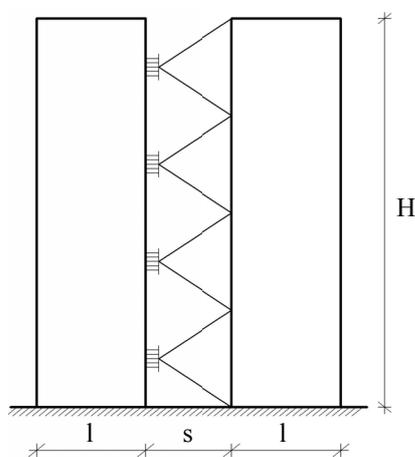


Figura 1: Tabiques acoplados con brazos de instalación y disipadores

En este trabajo se desarrolla un método, basado en desplazamientos, de diseño preliminar aplicable a dicha tipología estructural. Para ello se logra extender la metodología desarrollada para pórticos (Rubinstein et al., 2008) y para tabiques adosados (Rubinstein et al., 2009), con disipadores de energía por fluencia de metal.

El primer paso consiste en determinar la capacidad del sistema tabiques, brazos de instalación y disipadores expresada por el correspondiente diagrama push-over, corte basal vs. desplazamiento en la cima. Su construcción se realiza adicionando los diagramas push over de los tabiques y la contribución de los disipadores, se aplican conceptos conocidos para determinar el desplazamiento de fluencia en la cima de los tabiques (Paulay, 2002) e hipótesis que son validadas con resultados obtenidos utilizando análisis no lineal estático.

El paso siguiente consiste en calcular la demanda sísmica, expresada por la ductilidad requerida al sistema de los disipadores y el correspondiente desplazamiento en la cima. Para eso resulta conveniente utilizar un espectro de diseño inelástico, en el formato de punto de fluencia (YPS) (Ascheim and Black, 2000), empleando como datos de entrada, parámetros obtenidos del diagrama push over.

Finalmente se verifica si se satisfacen los requisitos impuestos para el diseño. De acuerdo con el objetivo del Control Pasivo, concentrar el daño en los disipadores, reemplazables, y evitarlo en la estructura principal, se escoge respuesta elástica de los tabiques y para controlar el daño en elementos no estructurales se establece un valor límite para la distorsión de piso.

A continuación se presenta la metodología de diseño preliminar, luego una descripción resumida del software de elementos finitos aplicado para verificar resultados, utilizando análisis no lineal estático y dinámico y finalmente un ejemplo correspondiente a una construcción de cinco pisos, supuestamente ubicada en la ciudad de Mendoza. Se ha podido comprobar la eficacia del método propuesto y se señalan futuras mejoras.

2 METODOLOGÍA PARA DISEÑO PRELIMINAR

De acuerdo con aspectos funcionales y formales de la construcción y con antecedentes existentes, se han adoptado las longitudes, espesores y separación de los tabiques a acoplar, por medio de los brazos de instalación y los disipadores. También se seleccionaron materiales, por ejemplo calidad de los componentes del hormigón armado de los tabiques y del acero, para el caso de brazos de instalación metálicos. Luego se debe determinar la capacidad del sistema tabiques, brazos de instalación y disipadores.

2.1 Capacidad

La capacidad del sistema tabiques, brazos de instalación y disipadores se expresa por el correspondiente diagrama push-over, corte basal vs. desplazamiento en la cima, que se muestra en la Figura 2, junto a los diagramas auxiliares utilizados para su construcción.

Este diagrama es, simplificado, trilineal y sus vértices corresponden, ordenadamente, el primero a la fluencia de los disipadores, que es el subconjunto más rígido, diseñados, como se verá más adelante, para entrar en fluencia simultáneamente y el segundo a la formación de las rótulas plásticas en las secciones de empotramiento.

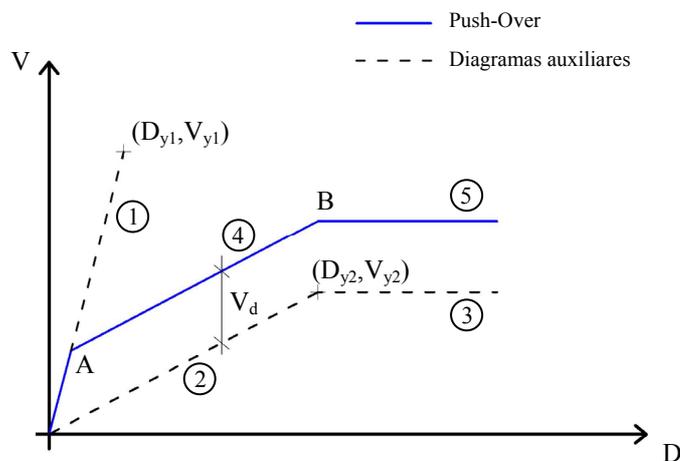


Figura 2: Diagrama Push-over

La recta 1 corresponde al comportamiento, con disipadores en período elástico. Se supone aproximadamente coincidente con la respuesta de un tabique equivalente de longitud $2 \cdot \ell + s$, hipótesis que ha sido validada mediante análisis numéricos de verificación, como se puede observar en el ejemplo. Para su trazado se determina el punto (D_{y1}, V_{y1}) , de acuerdo a conocidas ecuaciones (Rubinstein et al., 2006), que se escriben a continuación.

Desplazamiento de fluencia en la cima, para carga horizontal con distribución, en altura, tipo triángulo invertido:

$$D_{y1} = \frac{11}{40} \phi_{y1} H^2 \quad (1)$$

Curvatura de fluencia en la base:

$$\phi_{y1} = \frac{2\varepsilon_y}{(2\ell + s)} \quad (2)$$

Donde ε_y es la deformación de fluencia de la armadura longitudinal y $2 \cdot \ell + s$ es la longitud del tabique equivalente.

Esfuerzo de corte último, en la base:

$$V_{y1} = M_{y1} / (2/3)H \quad (3)$$

Momento flector último, en la base:

$$M_{y1} = EI_{r1} \phi_{y1} \quad (4)$$

Donde E es el módulo de elasticidad longitudinal del hormigón e I_{r1} es el momento de inercia de la sección del tabique equivalente, reducido para tener en cuenta efectos de la fisuración, que establece el código (INPRES, CIRSOC, 2005).

Por otra parte las rectas 2 y 3 representan el diagrama push-over de los dos tabiques acoplados, sin conformar un único tabique equivalente, pero sumando sus resistencias. Para su determinación se emplean ecuaciones análogas a las anteriores:

$$D_{y2} = \frac{11}{40} \phi_{y2} H^2 \quad (5)$$

$$\phi_{y2} = \frac{2\varepsilon_y}{\ell} \quad (6)$$

$$V_{y2} = 2(M_{y2} / (2/3)H) \quad (7)$$

$$M_{y2} = EI_{r2} \phi_{y2}$$

Donde I_{r2} es el momento de inercia reducido de la sección del tabique de longitud ℓ .

Las rectas 4 y 5 son respectivamente paralelas a las 2 y 3 y las separa de éstas V_d que es la contribución de los disipadores, en fluencia, al corte basal. De acuerdo con la experiencia se elige V_d del orden de la mitad de V_{y2} .

El vértice B de coordenadas $(D_{yB} = D_{y2}, V_B = V_{y2} + V_d)$ corresponde, simplificado, a la formación de las rótulas plásticas en las secciones inferiores de los tabiques y el vértice A (D_{yA}, V_A) , que se obtiene como intersección de las rectas 1 y 4, corresponde a la entrada en fluencia de los disipadores.

2.2 Demanda y requisitos

Resulta conveniente expresar la demanda mediante espectros de diseño con el formato de diagramas de capacidad a espectros de punto de fluencia (YPS), tal como el utilizado más adelante, en el ejemplo, para sismos raros con período medio de recurrencia $T = 475$ años y probabilidad de excedencia de 10 % en 50 años.

En correspondencia con esta demanda, de acuerdo con el objetivo del Control Pasivo, concentrar el daño en los disipadores, reemplazables, y evitarlo en la estructura principal, y a criterios actuales (Bozzo y Barbat, 2000; Kasai and Ito, 2004), en este trabajo se han

establecido los siguientes requisitos para el diseño: respuesta elástica de los tabiques y 0,7 % como límite de la distorsión de piso.

2.3 Verificación

En la Figura 2 se observa que el sistema de los disipadores disipa energía a partir del desplazamiento de fluencia en la cima D_{yA} , mientras los tabiques permanecen elásticos, en el intervalo $D_{yA} - D_{yB}$.

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_{yA} , 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 de los disipadores que para el sistema total tabiques-disipadores 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_A y V_B , y la totalidad del peso efectivo en el primer modo.

Luego el desplazamiento máximo requerido, en la cima, resulta:

$$D_r = \mu_r \cdot D_{yA} \quad (8)$$

De acuerdo con los requisitos establecidos, se debe cumplir:

$$D_r \leq D_{yB} \quad (9)$$

$$\frac{D_r}{H} \leq 0,7\% \quad (10)$$

Donde H es la altura de los tabiques.

Si estas condiciones no se satisfacen de deberá corregir el diseño aumentando resistencias para disminuir la ductilidad requerida o proyectando tabiques más flexibles, para aumentar D_{yB} .

2.4 Diseño de disipadores

Los disipadores se diseñan para que entren en fluencia simultáneamente, en correspondencia con el vértice A del diagrama push-over, ver Figura 2. Como se ha dicho, con disipadores en período elástico el comportamiento del sistema es como el de un tabique equivalente de longitud $2 \cdot \ell + s$.

Se asume distribución de fuerzas sísmicas horizontales de acuerdo con el Método Estático Reglamentario. En correspondencia con la entrada en fluencia de los disipadores, la fuerza F_i ubicada en el piso i , indicada en la Figura 3, resulta:

$$F_i = \frac{W_i H_i}{\sum_{j=1}^n W_j H_j} V_A \quad (11)$$

Siendo:

W_i, W_j las cargas gravitatorias supuestas concentradas en los pisos i y j , respectivamente.

H_i, H_j las alturas de los pisos i y j medidas a partir del nivel basal.

V_A el esfuerzo de corte basal correspondiente al vértice A del diagrama push-over (Figura 2).

n el número total de pisos.

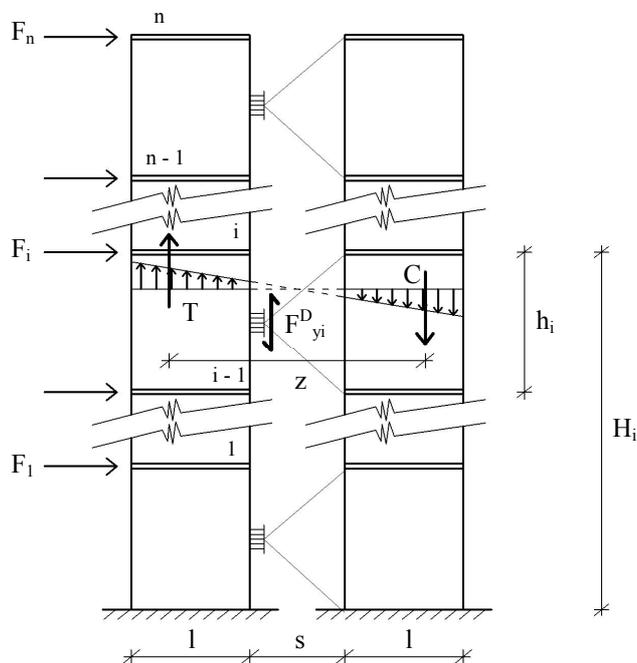


Figura 3: Fuerzas en correspondencia con la entrada en fluencia de los dissipadores

El esfuerzo de corte correspondiente al entrepiso genérico i , entre los pisos i e $i-1$, es:

$$V_i = \sum_{j=i}^n F_j \quad (12)$$

Se asume que las secciones rectas del conjunto de ambos tabiques, de longitud $2 \cdot \ell + s$, se conservan planas, como se muestra en la Figura 3, donde C y T son las resultantes de las tensiones de compresión y tracción y z el brazo de palanca interno.

El esfuerzo rasante acumulado en el entrepiso i , por razones de equilibrio, debe ser igual a la fuerza de corte F_{yi}^D , de fluencia del dissipador, indicada en el Figura 3. Resulta:

$$F_{yi}^D = \frac{V_i}{Z} h_i \quad (13)$$

Siendo:

$$Z = 2 \left[Y_1 - \frac{(Y_1 - Y_2)(Y_1 + 2Y_2)}{3(Y_1 + Y_2)} \right] \quad (14)$$

Donde:

$$Y_1 = 0,5s \quad (15)$$

$$Y_2 = 0,5s + \ell \quad (16)$$

Por otra parte, 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 son (Soong and Dargush, 1997):

$$\Delta_y^D = \frac{\varepsilon_y L^2}{h} \quad (17)$$

$$F_y^D = \frac{NEW_w h^3}{6L^3} \Delta_y^D \quad (18)$$

Luego, adoptando constantes las características W_o , L y h para todos los disipadores, el número de chapas N del disipador del entropiso genérico i , será:

$$N_i = \frac{6L}{E\varepsilon_y W_w h^2} F_{yi}^D \quad (19)$$

3 VERIFICACIÓN INELÁSTICA

En este trabajo los resultados obtenidos, aplicando procedimientos de diseño preliminar descriptos en el apartado 2, son verificados aplicando un software de análisis no lineal (Möller, 2001) estático, para determinar la capacidad, y dinámico para calcular la demanda.

En dicho software se encuentra incorporado un elemento (Ascheri et al., 2006) que cuenta con tres resortes no lineales, para cada grado de libertad, que permite simular el comportamiento de los disipadores por fluencia de metal. El mismo está compuesto de tres subelementos conectados en serie como se distingue en la Figura 4.

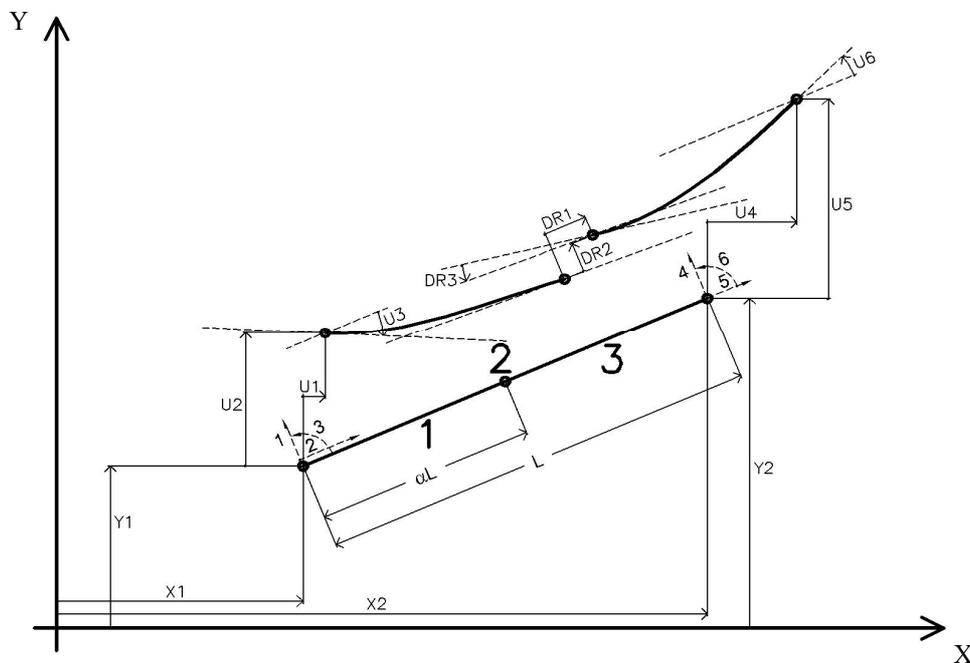


Figura 4: Esquema general del elemento

Los subelementos 1 y 3 corresponden a dos elementos de barras de dos nodos y tres grados de libertad por nodo, elásticos y lineales, que intentan modelizar el comportamiento de los brazos de ensamble.

El subelemento 2 está compuesto por tres resortes, uno para cada grado de libertad, a los cuales se les pueden otorgar por separado diferentes ecuaciones constitutivas. Este subelemento vincula las barras 1 y 3 de la Figura 4 y es el responsable de la no linealidad. Al mismo se lo simula con una longitud nula, siendo el parámetro α de la Figura 4 el que determina su ubicación en el sistema formado por estos tres subelementos. Una modelización de lo desarrollado se observa en la Figura 5.

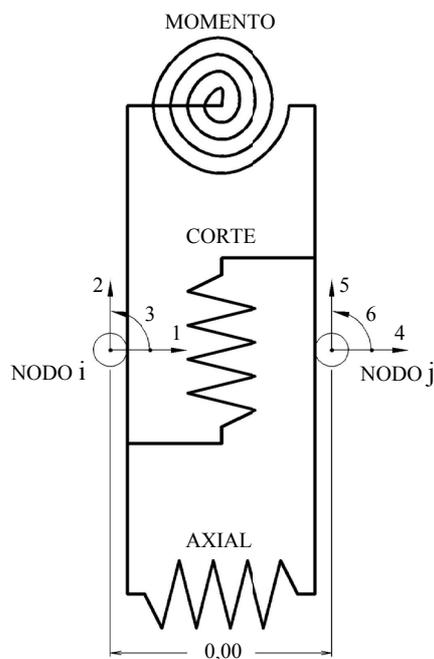


Figura 5: Esquema general del subelemento 2

A partir de ello, la relación entre fuerzas y desplazamientos relativos de los nodos del subelemento 2 queda definida por la siguiente relación:

$$\Delta F = K_R \Delta u \quad (20)$$

$$\Delta F = \begin{bmatrix} \Delta F_1 \\ \Delta F_2 \\ \Delta F_3 \\ \Delta F_4 \\ \Delta F_5 \\ \Delta F_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & 0 & 0 & -k_1 & 0 & 0 \\ & k_2 & 0 & 0 & -k_2 & 0 \\ & & k_3 & 0 & 0 & -k_3 \\ & & & k_1 & 0 & 0 \\ & & & & k_2 & 0 \\ & & & & & k_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u_1 \\ \Delta u_2 \\ \Delta u_3 \\ \Delta u_4 \\ \Delta u_5 \\ \Delta u_6 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Donde k_1, k_2, k_3 , representan la rigidez de los resortes axial, de corte y flexión respectivamente, los cuales pueden tener distintas ecuaciones constitutivas.

La ecuación constitutiva para un disipador de energía por fluencia de acero se caracteriza por el comportamiento carga – desplazamiento, que se muestran en la Figura 6.

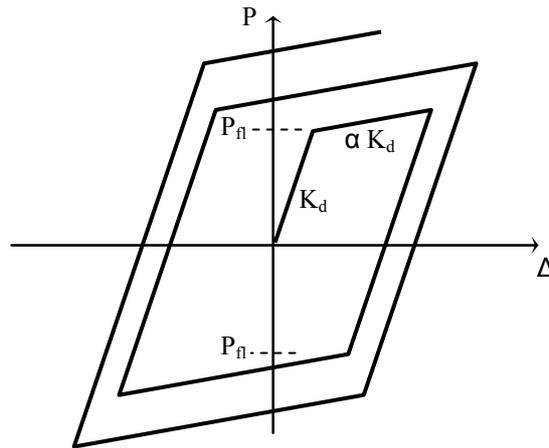


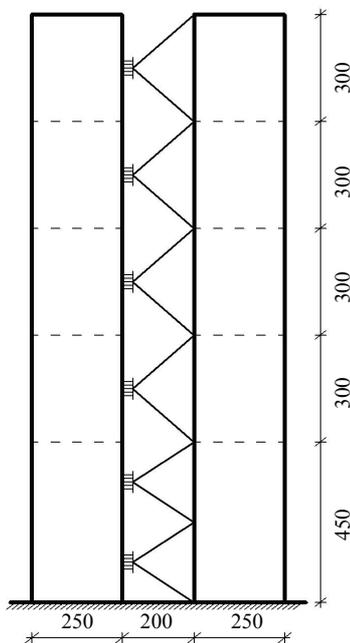
Figura 6: Modelo del comportamiento de un dispositivo de control pasivo por fluencia de acero

4 EJEMPLO

Se considera una construcción de cinco pisos y planta rectangular de 15 m x 9 m, supuestamente ubicada en la ciudad de Mendoza.

En la dirección de la menor dimensión en planta se disponen cuatro planos sismorresistentes formados por tabiques acoplados con brazos de instalación y disipadores de energía.

En la Figura 7 se muestra el plano sismorresistente típico, datos de cargas, de masa y de materiales y del sistema de disipadores y brazos de instalación resultante de aplicar el diseño preliminar.



Notas

1. Espesor de los tabiques: 30cm
2. Carga gravitacional en cada nivel:
permanente: 8 KN/m²
sobrecarga: 2 KN/m²
factor de mayoración de la sobrecarga: $f_1 = 0,50$
3. Masa en cada nivel:
 $m = 123,85 \text{ KN seg}^2/\text{m}$
4. Medidas en cm.
5. Materiales:
Según CIRSOC 201
Hormigón: H-25
Acero: ADN 420
6. Disipadores
Material: Acero F-24
Geometría: $L = 200 \text{ mm}$
 $W_o = 133 \text{ mm}$
 $h = 36,1 \text{ mm}$
Número de chapas:
Del 1° al 5° piso
2 x 6, 7, 6, 4, 3
7. Brazos de instalación
Material: Acero F-24
1° piso: 2 x 2 UPN12
2° piso: 2 UPN12
3° a 5° piso: 2 UPN10
Forma genérica: tubular

Figura 7: Tabiques acoplados y sistema de disipadores

4.1 Capacidad

La Figura 8 corresponde al diagrama push-over, corte basal vs. desplazamiento en la cima del sistema tabiques, brazos de instalación y disipadores. En líneas de trazos se muestran los diagramas auxiliares utilizados en su construcción.

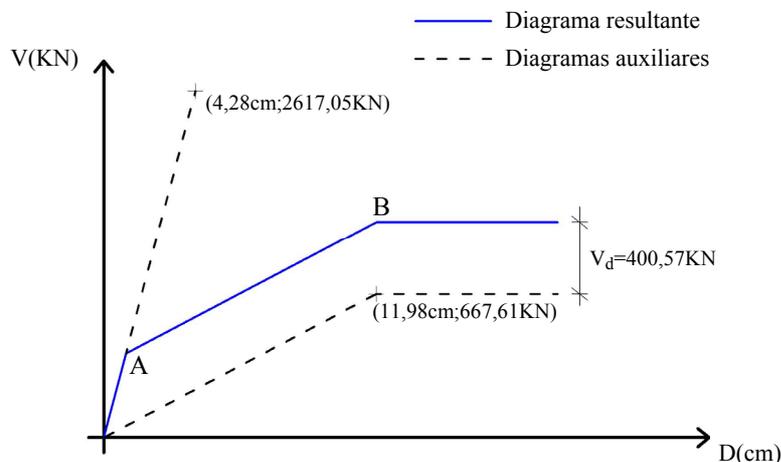


Figura 8: Diagrama push-over

Coordenadas de los vértices:

$$D_{yA} = 0,72 \text{ cm}, V_A = 440,74 \text{ KN}$$

$$D_{yB} = 11,98 \text{ cm}, V_B = 1068,18 \text{ KN}$$

Este diagrama es representativo de la capacidad del sistema tabiques, brazos de instalación y disipadores y, por ejemplo, en él se puede observar el intervalo entre los desplazamientos de fluencia, en la cima, de los disipadores y de los tabiques (0,72 cm – 11,98 cm), en el que es posible la disipación de energía con comportamiento elástico de los tabiques.

4.2 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 Mendoza (INPRES, 1995) 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.

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

Como resultado se obtiene la ductilidad requerida: $\mu_r = 6,00$

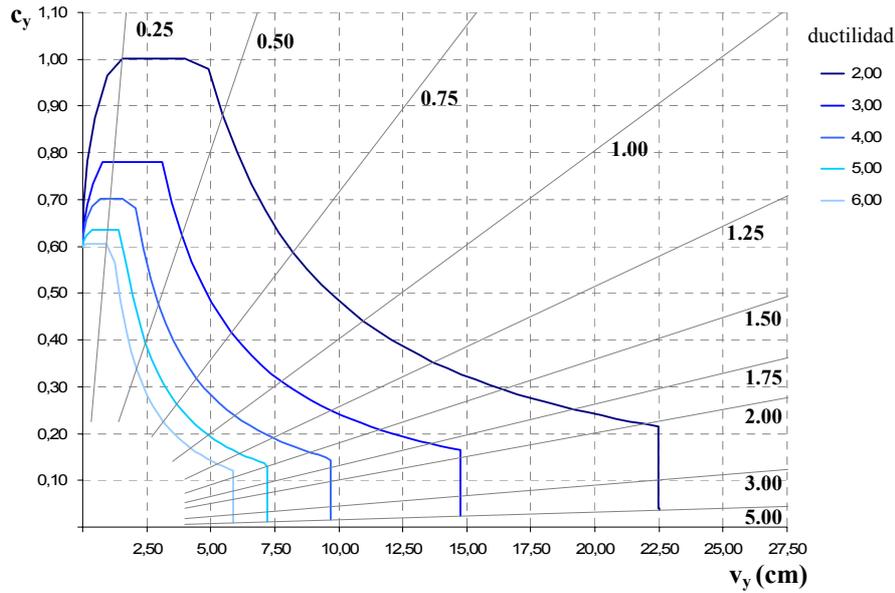


Figura 9: Espectro de punto de fluencia

4.3 Verificaciones

Desplazamiento requerido en la cima:

$$D_r = \mu_r D_{yA} = 6,00 \times 0,72 \text{ cm} = 4,32 \text{ cm}$$

Se verifica: $D_r < D_{yB} = 11,98 \text{ cm}$

Los tabiques se mantienen en el período elástico.

La distorsión de piso resulta:

$$\frac{4,32 \text{ cm}}{1650 \text{ cm}} = 0,26 \% < 0,7\% : \text{distorsión admisible}$$

4.4 Verificaciones inelásticas

Utilizando software para análisis no lineal estático y dinámico, cuyas características se han resumido en el apartado 3, se obtienen resultados con el objetivo de verificar los del diseño preliminar.

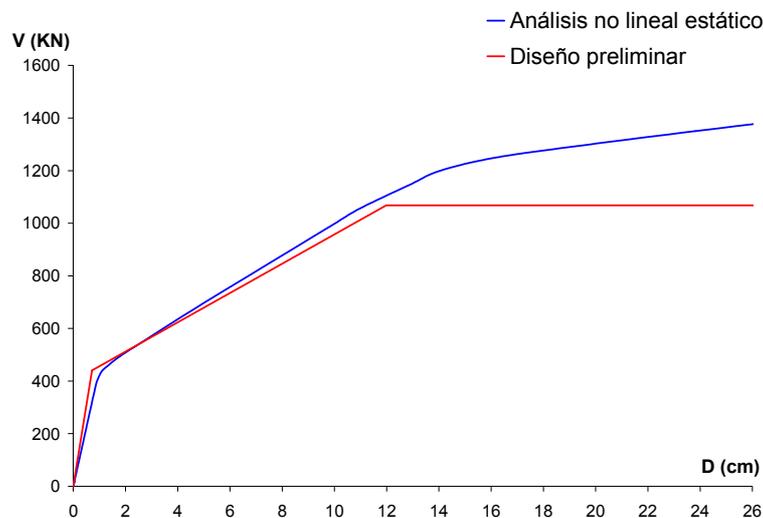


Figura 10: Comparación de diagramas push-over

En la Figura 10 se comparan los diagramas push-over. Se observa que el diseño preliminar resulta aceptablemente aproximado y que no se tiene en cuenta reendurecimiento en el período inelástico de los tabiques.

Para el análisis dinámico no lineal se emplearon nueve acelerogramas, conjunto usado para la construcción del espectro de diseño. Se obtienen los siguientes resultados, correspondientes al valor medio más un desvío standard:

Desplazamiento máximo en la cima: 5,76 cm

Distorsión máxima: 0,49 %

Los respectivos valores, obtenidos con el diseño preliminar son: 4,32 cm y 0,26 %.

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado y aplicado para el diseño preliminar de tabiques sismorresistentes acoplados con brazos de instalación y disipadores de energía, por fluencia de metal.

El procedimiento de diseño propuesto es una extensión de los desarrollados para el diseño preliminar de pórticos y tabiques adosados, con disipadores de energía por fluencia de metal, resulta conceptualmente claro y requiere pocas y sencillas operaciones. Comprende dos etapas en las que se determinan respectivamente la capacidad del sistema tabiques, brazos de instalación y disipadores, mediante el diagrama push-over, y la demanda sísmica requerida, calculada en términos de desplazamiento máximo en la cima y la distorsión de piso correspondiente.

Con estos resultados se comprueba si se satisfacen requisitos adoptados para el diseño: comportamiento elástico de los tabiques y distorsión de piso inferior a 0,7 %, para sismos raros, con intervalo medio de recurrencia $T = 475$ años y probabilidad de excedencia de 10 % en 50 años.

El ejemplo de aplicación realizado, consistente en el diseño preliminar de tabiques de hormigón armado, acoplados con brazos de instalación metálicos y disipadores de energía por fluencia de placas de acero triangulares, para una construcción de cinco pisos, supuestamente ubicada en la ciudad de Mendoza, ha permitido comprobar la eficacia 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 construir espectros de diseño utilizando, para el oscilador equivalente de un grado de libertad, ciclos de histéresis específicamente adaptados a la respuesta de los tabiques acoplados con brazos de instalación y disipadores de energía, con lo que se espera disminuir diferencias encontradas entre los resultados del diseño preliminar y los obtenidos con análisis dinámico no lineal.

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

- Ascheim M. and Black E. F. Yield point spectra for seismic design and rehabilitation. *Earthquake Spectra*, 16:2., 2000.
- Ascheri J. P., Rubinstein M. y Möller O. Diseño de control pasivo de pórticos sismorresistentes de varios pisos aplicando resultado de control pasivo predictivo. *Memorias XIX Jornadas AIE*, 2006.

- Bozzo L. M. y Barbat A. H. Diseño sismorresistente de edificios. Técnicas convencionales y avanzadas. *Editorial Reverté S.A.*, 2000.
- INPRES. Microzonificación Sísmica del Gran Mendoza. *Publicación Técnica N° 19*, 1995.
- INPRES, CIRSOC. Proyecto de Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes, Parte II, Construcciones de Hormigón Armado, 2000.
- Kasai K. and Ito H. 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, B.C., Canada, Paper N° 5060, 2004.
- Möller O. Metodología para evaluación de la probabilidad de falla de estructuras sismorresistentes y calibración de códigos. *Tesis de Doctorado en Ingeniería*, Universidad Nacional de Rosario, 2001.
- Paulay T. An estimation of displacements limits for ductile systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 583-599, 2002.
- Rubinstein M., Ascheri J. P., Aira R. y Giuliano A. Diseño preliminar de tabiques de hormigón armado adosados, con disipadores de energía por fluencia de metal. *Memorias 8-EIPAC-09*, 2009.
- Rubinstein M., Giuliano A. P. y Möller O. Diseño preliminar de estructuras sismorresistentes: un tratamiento unificado de los efectos traslacionales y rotacionales. *Memorias XIX Jornadas AIE*, 2006.
- Rubinstein M., Möller O., Giuliano A. P. y Aira R. Diseño preliminar de disipadores de energía, por fluencia de metal, en pórticos de hormigón armado sismorresistentes. *Memorias XX Jornadas AIE*, 2008.
- Soong T. T. and Dargush G. F. Passive Energy Dissipation System in Structural Engineering. *John Wiley & Sons Ltd.*, 1997.