

## DISEÑO GENERALIZADO DE DISIPADORES, POR FLUENCIA DE METAL, PARA TABIQUES SISMORRESISTENTES

**Juan P. Ascheri<sup>a</sup>, Marcelo Rubinstein<sup>a</sup>, Oscar Möller<sup>a</sup>, Mauro Poliotti<sup>a</sup>**

*<sup>a</sup>Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE), Facultad Cs.Ex., Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Riobamba y Berutti, 2000 Rosario, Argentina, marub@fceia.unr.edu.ar*

**Palabras clave:** tabiques sismorresistentes, disipadores de energía, análisis no lineal, diseño por desplazamientos.

**Resumen.** Este trabajo se ubica en el marco del diseño preliminar de estructuras de edificios sismorresistentes, dentro de los criterios vigentes de diseño basado en desplazamientos, asegurando el cumplimiento de estados límites referidos a ductilidad, índices de daño y distorsiones de piso, e involucrando requisitos para más de un nivel de sollicitación sísmica. Por otra parte se exige una metodología conceptualmente clara, que utilice pocas y sencillas operaciones, incorporando, además, sistemas de disipación de energía mediante control pasivo.

En trabajos previos se elaboraron criterios que permiten el diseño de los dispositivos de disipación de energía aplicando las ecuaciones de compatibilidad de desplazamientos del método de las fuerzas, en el sistema fundamental que se logra desconectando cada disipador del tabique adyacente y además estableciendo, como condición de optimización, que los disipadores alcancen la fluencia simultáneamente.

Estos criterios lograron tener éxito para controlar la performance de las estructuras en los niveles de sismos raros ( $T = 475$  años) y desempeño operacional, cumpliendo los requisitos de desempeño totalmente operacional con niveles para sismos frecuentes ( $T = 43$  años) limitado al diseño de disipadores suficientemente rígidos.

Para generalizar el diseño preliminar eliminando la limitación antedicha para los disipadores, se desarrolla un procedimiento que incorpora herramientas para evitar la entrada en fluencia de los disipadores para dicho nivel sísmico, siguiendo los mismos criterios utilizados anteriormente dentro del marco del diseño preliminar de estructuras, evitando de esta forma la necesidad de reparación o reemplazo prematuro de los dispositivos.

Se presentan dos ejemplos, uno referido a tabiques adosados y el otro a tabiques acoplados con brazos de instalación. Ambos han servido para comprobar la eficacia del procedimiento propuesto aplicando verificaciones con análisis estático y dinámico no lineal.

## 1 INTRODUCCIÓN

En estos últimos años se ha desarrollado una metodología de diseño preliminar de estructuras sismorresistentes en donde se han ido incorporando paulatinamente los conceptos que hoy en día rigen a la ingeniería sismorresistente (Rubinstein et al. 2007, 2012).

En la misma se acepta que el diseño estructural debe estar basado en desplazamientos, en lugar de fuerzas (Paulay 2002, Priestley et al. 2007), siendo los parámetros directrices valores límites de ductilidad, índice de daño (Fajfar 1992) y distorsión de piso. Además debe considerarse más de un nivel de sollicitación sísmica, estableciendo como objetivo el tipo de respuesta para cada uno, sintéticamente expresado como “diseño basado en el desempeño” (Visión 2000, 1995)

También incorpora la posibilidad de utilizar sistemas de control pasivo de la respuesta estructural, con el objetivo de concentrar la disipación de energía en dispositivos reemplazables, evitando el daño en la estructura y en elementos no estructurales (Soong and Dargush, 1997).

El procedimiento de diseño preliminar utiliza espectros de diseño inelásticos, en formato de diagramas de capacidad o Yield Point Spectra (Ascheim et al. 2000, Tjhin et al. 2004). Se aplica a estructuras cuyo comportamiento global, desplazamiento en la cima vs. corte en la base, puede representarse mediante un sistema equivalente de un grado de libertad. Básicamente se calcula la ductilidad disponible a partir del desplazamiento límite, establecido por requisito del nivel de desempeño correspondiente y el desplazamiento de fluencia de la estructura principal o de los disipadores en el caso con control.

La metodología de diseño preliminar propuesta aplica diagramas push-over, corte en la base – desplazamiento en la cima, en cada dirección resistente de las estructuras planas componentes (tabiques, pórticos) y del sistema.

Al diseñar los planos sismorresistentes con control pasivo, se observó que es necesario hacerlo de forma tal que todos los dispositivos disipadores de energía ingresen simultáneamente a su campo inelástico, evitando de esta forma la incursión prematura de algunos dispositivos. Este requisito se hizo imprescindible cuando se evalúa el desempeño de la estructura ante “sismos frecuentes” exigiendo nivel de desempeño totalmente operacional, donde se debe descartar cualquier tipo de acción de mantenimiento sobre dichos dispositivos ante este nivel de sollicitación sísmica.

Este inconveniente se solucionó (Rubinstein et al 2011) desarrollando, dentro del marco del diseño preliminar, un procedimiento de diseño para dichos disipadores que aplica el método de las fuerzas y establece como condición de optimización la entrada en fluencia simultánea de los mismos.

A pesar de esto solo se logró que los dispositivos ingresen simultáneamente en fluencia, pero no se relacionó el desplazamiento de fluencia de los disipadores con el desplazamiento en la cima del plano estudiado.

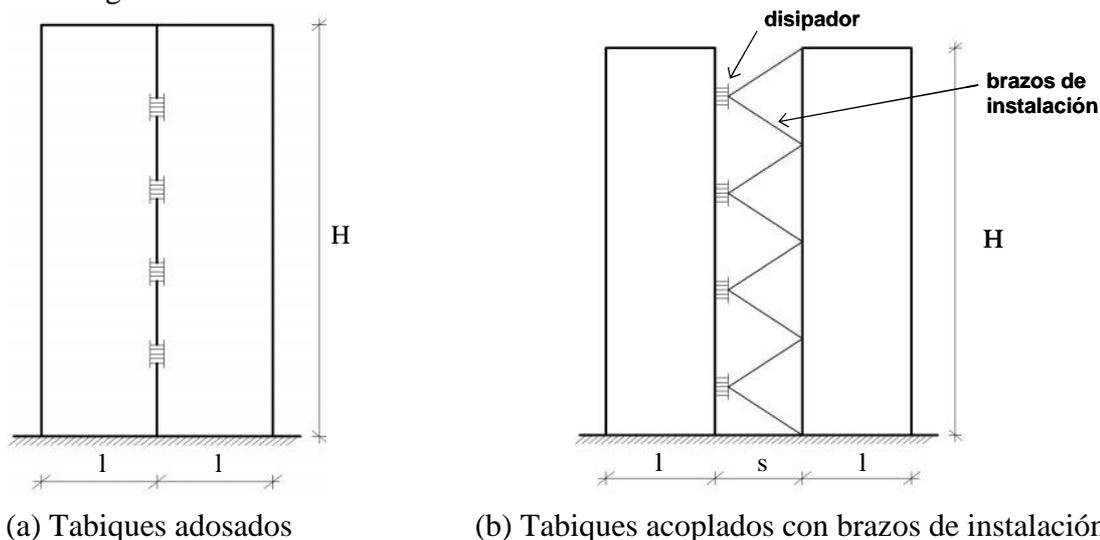
Esta limitación permitía cumplir con los requisitos establecidos en el desempeño totalmente operacional solo si se limitaba el diseño al de dispositivos lo suficientemente rígido para que los planos diseñados se comportasen como elementos únicos hasta la entrada en fluencia de los mismos. Para ello en la primera rama del push-over se utilizaba una rigidez inicial estimada, que contradecía en parte a los concepto de diseño basados en desplazamientos (Rubinstein et al. 2012).

En este trabajo se plantea una metodología que permite relacionar estos dos parámetros (desplazamiento en la cima del plano estudiado con el desplazamiento de fluencia de los disipadores), lo cual sumado a la aplicación del procedimiento de diseño de disipadores por el

método de las fuerzas (Rubinstein et al. 2011), permite adoptar un criterio único de diseño dentro de la metodología de diseño preliminar para estructuras sin control y con control, evitando la adopción de una rigidez inicial para este último caso y respetando los conceptos del diseño basado en desplazamientos.

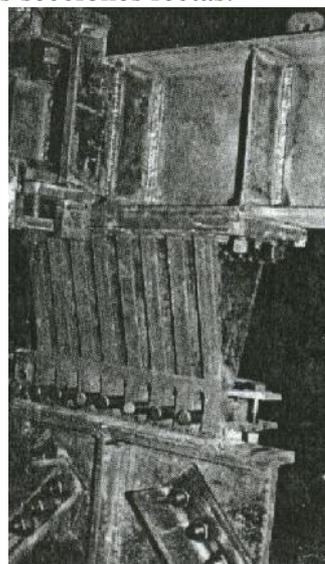
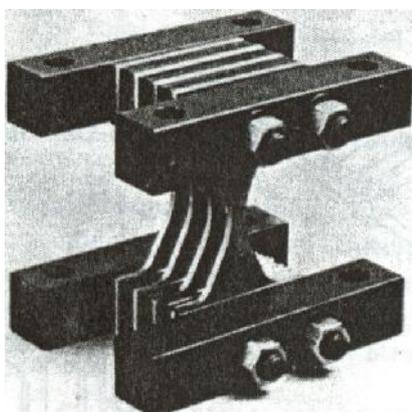
## 2 SISTEMA ESTUDIADO

Este procedimiento se aplica sobre disipadores por fluencia de metal (Soong and Dargush, 1997) utilizados en tabiques adosados o bien acoplados con brazos de instalación, como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1:** Tabiques con disipadores de energía por fluencia de un metal

En la Figura 2 se observan disipadores de energía típicos, por fluencia de metal, accionados por desplazamientos relativos originados en la estructura en la que se encuentran instalados. Están conformados por chapas cuya geometría, en forma de triángulo o de doble triángulo permite la entrada en fluencia simultáneamente de todas sus secciones rectas.



**Figura 2:** Disipadores de energía típicos, por fluencia de metal.

Se consideran disipadores por fluencia de metal, con módulo de elasticidad  $E$ , con deformación específica de fluencia  $v_y$ , y conformados por  $N$  chapas triangulares, de espesor  $h$ , con dimensiones para la base y la altura  $w_0$  y  $L$ , respectivamente. El desplazamiento de fluencia y el esfuerzo de corte correspondiente son (Soong and Dargush, 1997):

$$\Delta_y = \frac{v_y L^2}{h} \quad (1)$$

$$F_y = \frac{NEw_0 h^3}{6L^3} \cdot \Delta_y \quad (2)$$

### 3 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Se considera el caso de dos tabiques iguales acoplados, con brazos de instalación y disipadores de energía. En la Figura 3 se muestra el sistema fundamental elegido para aplicar el Método de las Fuerzas, las bielas horizontales representan los vínculos provistos por las losas de los pisos y  $X_j$  indica una incógnita genérica.

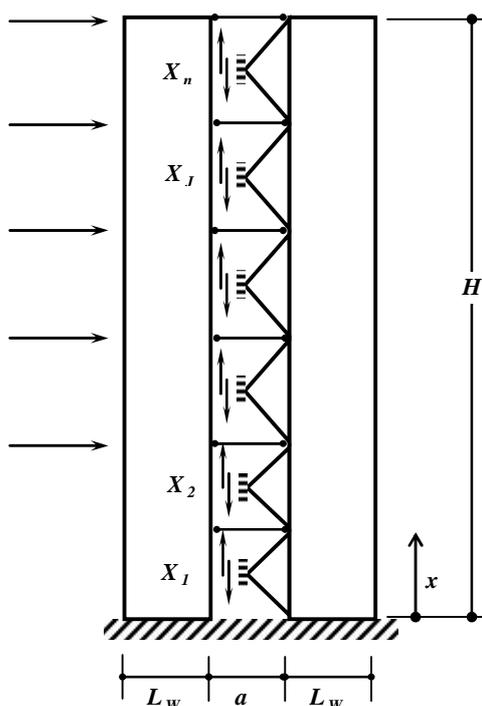


Figura 3: Tabiques acoplados, sistema fundamental.

Aplicando el Método de las Fuerzas, suponiendo a los disipadores en el inicio de la fluencia, despreciando la contribución de la deformación axial de los brazos de instalación y de la deformación por corte en los tabiques, se llega a la siguiente expresión (Rubinstein et al. 2011):

$$\sum_{j=1}^n N_j x_k = \frac{6L}{Ew_0 h^2 v_y L_w \left( r + \frac{K_I}{3r K_A} \right)} \left( \int_0^{x_i} M_o dx - \frac{v_y L^2}{h} \frac{E_b K_I A_g L_w}{6r} \right) \quad (3)$$

Donde:

$$r = 1 + \frac{a}{L_w} \quad (4)$$

$$k = j \quad \text{si } j < i$$

$$k = i \quad \text{si } j \geq i$$

$n$ : es el número total de disipadores.

$x, H$ : se muestran en la Figura 3

$E_b$ : módulo de elasticidad del hormigón

$K_A$ : factor de reducción de la sección transversal reglamentario.

$A_g$ : área bruta de la sección transversal de cada tabique.

$K_I$ : factor de reducción de la inercia bruta de la sección transversal de cada tabique:

$$K_I = \frac{I_r}{I_g} \quad (5)$$

Siendo  $I_g$  la inercia bruta de la sección transversal de cada tabique, e  $I_r$  la rigidez que se obtiene del push-over propuesto por el diseño preliminar del plano resistente como:

$$I_r = \frac{M_Y}{E_b w_{Yj}} = \frac{V_Y 2/3 H}{E_b w_{Yj}} \quad (6)$$

Donde:

$I_g$ : inercia bruta de la sección transversal de cada tabique.

$w_{Yj}$ : curvatura de fluencia para el mecanismo de colapso consistente en una rótula plástica en la base:

$$w_{Yj} = \frac{2 v_{Yj}}{L_{Wj}} = \frac{2 \times 0.002}{L_{Wj}} \quad (7)$$

Siendo  $v_{Yj}$  la deformación de fluencia de la armadura longitudinal y  $L_{Wj}$  la longitud del tabique.

La Ecuación (3) es la ecuación genérica que se aplica para determinar la ubicación del disipador más cercano al empotramiento capaz de llegar a fluencia y para calcular el número de chapas de cada uno de los disipadores del conjunto, diseñados para alcanzar la fluencia simultáneamente.

La Ecuación (3) es aplicable a tabiques adosados, tomando  $r = 1$ , valor que corresponde a considerar  $a = 0$  en la Ecuación (4).

### Desplazamiento en la cima

La expresión que relaciona las características de los disipadores con el desplazamiento en la cima del plano en el momento en que los mismos entran en fluencia, se deduce de la siguiente forma aplicando el método de la carga virtual unitaria.

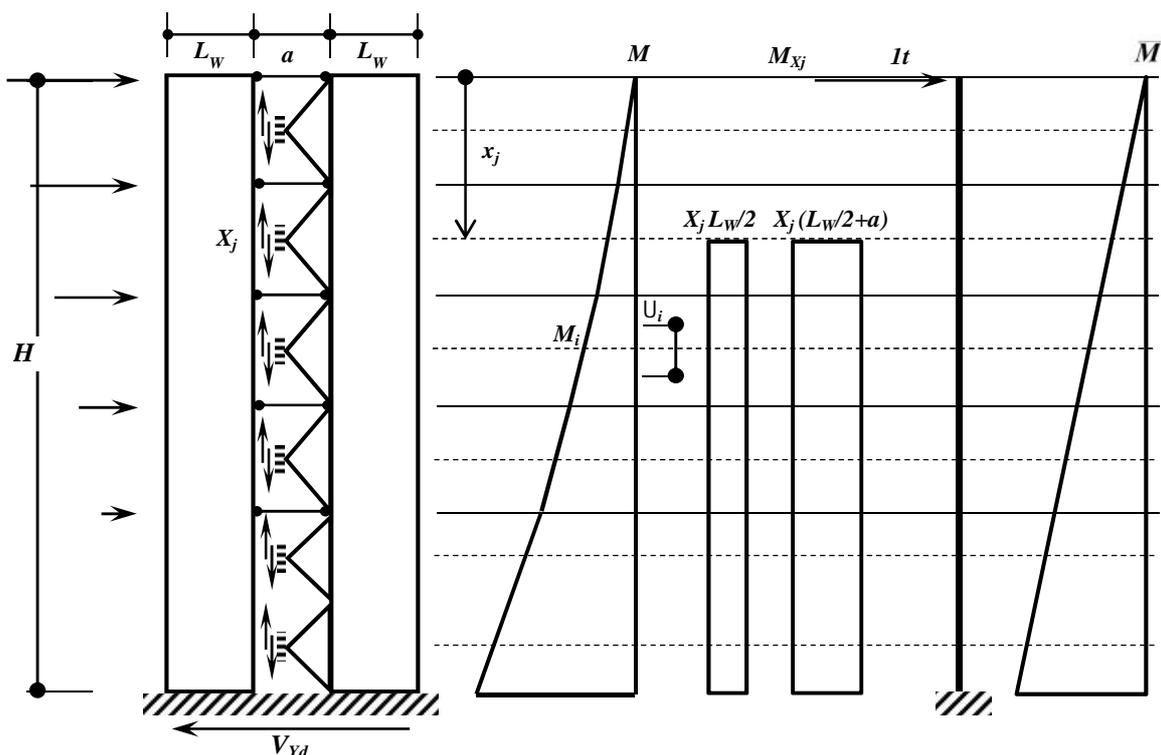


Figura 4: Diagrama M – M<sub>xj</sub> - M.

El desplazamiento total en la cima  $U_{Yd}$  va a estar determinado por la suma de los desplazamiento aportados por las cargas de diseño  $V_{Yd}$  obtenido a través del método del diseño preliminar,  $U'_{Yd}$ , más la suma de los desplazamientos que genera cada disipador  $j$ ,  $U''_{Ydj}$ , (de signo contrario) sobre la estructura al reaccionar sobre la deformación que se le genera.

$$U_{Yd} = U'_{Yd} + \sum_{j=1}^n U''_{Ydj} \tag{8}$$

Aplicando el método de la carga virtual unitaria, representado en la Figura 4, se obtiene para el desplazamiento aportado por la carga de diseño  $V_{Yd}$ ,

$$\bar{1}t E_b I_r \Delta'_{Yd} = \int_0^H M \bar{M} dx = 2 \int_0^H \frac{M}{2} \frac{\bar{1}t}{2} x dx = \sum \frac{M_i x_i \Delta_i}{2} \tag{9}$$

$$\Delta'_{Yd} = \frac{1}{2 E_b I_r} \sum M_i x_i \Delta_i \tag{10}$$

Si se sigue el mismo procedimiento según la Figura 4, para un disipador genérico  $j$  ubicado en una posición genérica  $x_j$ , se obtiene la siguiente expresión

$$\bar{1}t E_b I_r \Delta''_{Ydj} = - \int_{x_j}^H M_{x_j} M dx = - \int_{x_j}^H \left[ X_j \frac{L_w}{2} + X_j \left( \frac{L_w}{2} + a \right) \right] \frac{\bar{1}t}{2} x dx = - \int_{x_j}^H X_j (L_w + a) \frac{x}{2} dx \tag{11}$$

$$\Delta''_{Ydj} = - \frac{1}{E_b I_r} X_j (L_w + a) \frac{H^2 - x_j^2}{4} \tag{12}$$

Siendo  $X_j$  la fuerza de fluencia  $F_y$  de la Ecuación (2), del disipador  $j$  ubicado a una distancia  $x_j$  del extremo superior y que cumple con la Ecuación de compatibilidad (3).

A partir de las Ecuaciones (3) y (8) se pueden adoptar los parámetros de diseño de los dispositivos de disipación de energía de las Ecuaciones (1) y (2) que cumplan con las condiciones de compatibilidad de deformaciones para que todos los dispositivos ingresen en su campo inelástico simultáneamente y por otro lado lo hagan cuando el desplazamiento en la cima del plano sea igual al propuesto en el diseño preliminar  $U_{Yd}$ , para el corte de diseño  $V_{Yd}$  que se estimó.

Estas ecuaciones se implementan fácilmente en una planilla de cálculo y se procede iterativamente variando las características de los dispositivos. La solución no es única dando lugar a la posibilidad de adoptar distintos diseños de dispositivos.

## 4 EJEMPLOS

### 4.1 Diseño preliminar del sistema estructural

Se considera una construcción de cinco pisos y planta rectangular, ubicada en la ciudad de Mendoza, Argentina. En la Figura 5 se muestra el esquema de los planos sismorresistentes con control pasivo mediante disipadores de energía por fluencia de metal.

En cada dirección se han dispuesto un par de tabiques adosados y un par de tabiques acoplados. En la Figura 6 se muestran los planos resistentes en elevación y datos de materiales, cargas gravitacionales y masas.

Para dicha estructura se realizará el diseño preliminar de la misma, y se diseñarán los dispositivos disipadores de energía de dos formas.

- Suponiéndolos como dispositivos rígidos, evitando calcular el desplazamiento en la cima como se realizaba previamente (Disp. rígidos).
- Utilizando la Ecuación (8) y teniendo en cuenta la flexibilidad de los dispositivos (Disp. flexibles).

En la Tabla 1 se encuentran los valores numéricos empleados en este ejemplo para los parámetros que intervienen en el diseño preliminar.

Los espectros de diseño se obtuvieron a partir de un estudio de microzonificación sísmica para la ciudad de Mendoza (INPRES, 1995).

Para ciertos niveles de sollicitación se establecen niveles de desempeño. Como ejemplo, en este trabajo se considera lo siguiente:

Para los sismos “raros”, período de recurrencia  $T = 475$  años, nivel de desempeño operacional (“op”), se exige respuesta elástica de la estructura principal, ductilidad de los disipadores  $\tilde{d}$  y distorsión de piso límite  $\mu_{op}$ .

Para sismos “frecuentes”,  $T = 43$  años, nivel de desempeño completamente operacional (“co”), se exige comportamiento elástico de los disipadores.

$\tilde{d}_{co}$	$\tilde{d}_{op}$	$\mu_{op}$	$C_T$
<1	8	0.7 %	0.8

**Tabla 1:** Datos para el ejemplo 1

$C_T$  es un factor menor que 1 que se adopta para prever desplazamientos por torsión.

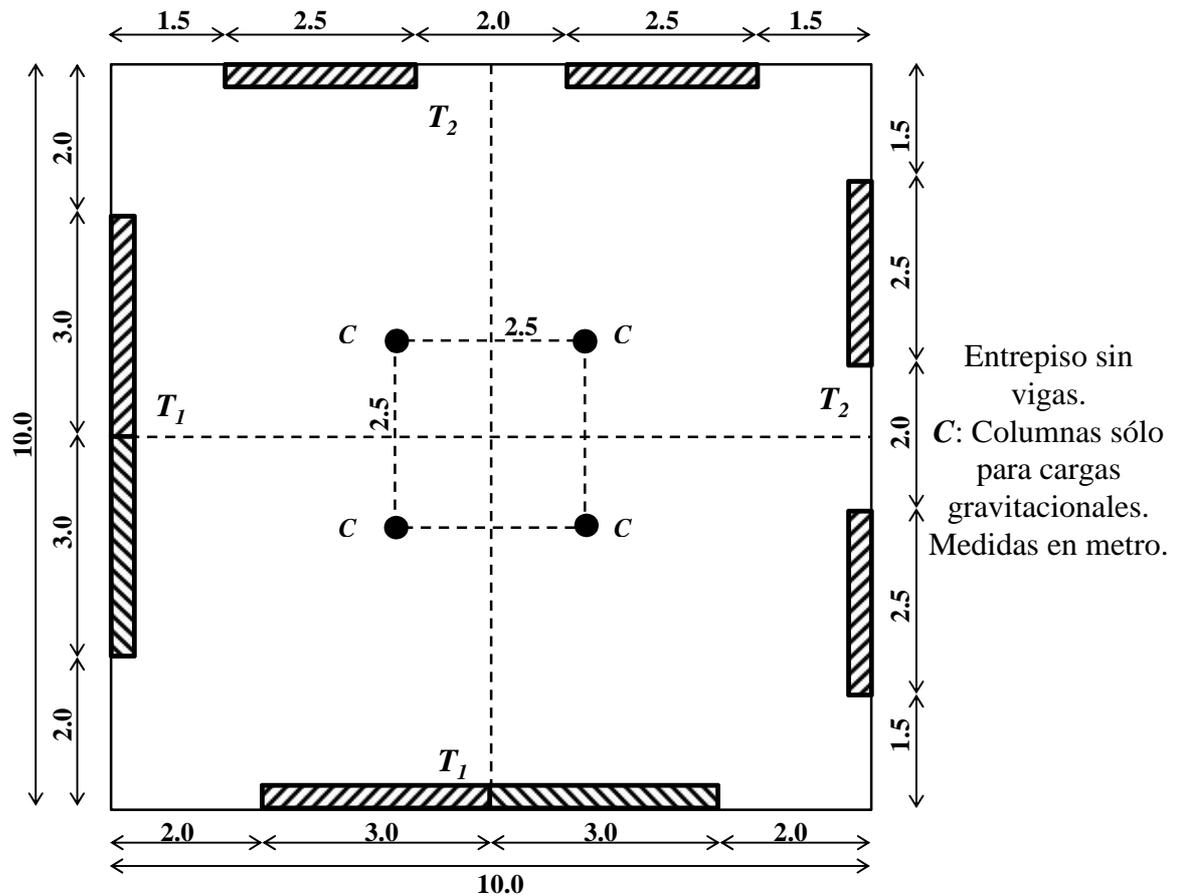


Figura 5: Esquema de planos sismorresistentes

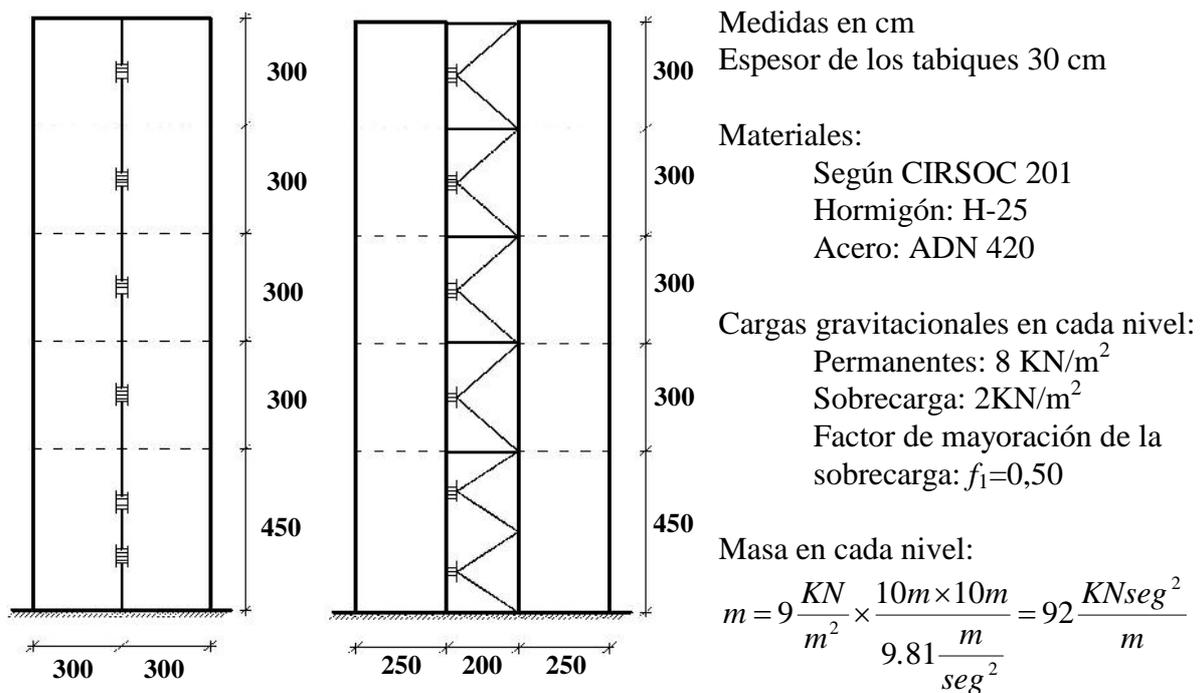


Figura 6: Vista lateral de los planos resistentes.

Los resultados del diseño preliminar se observan en los diagramas push-over de las Figuras 7, 8 y 9, y en la Tabla 2, donde figuran los desplazamientos totales, incluyendo el efecto torsional y los desplazamientos límites correspondientes.

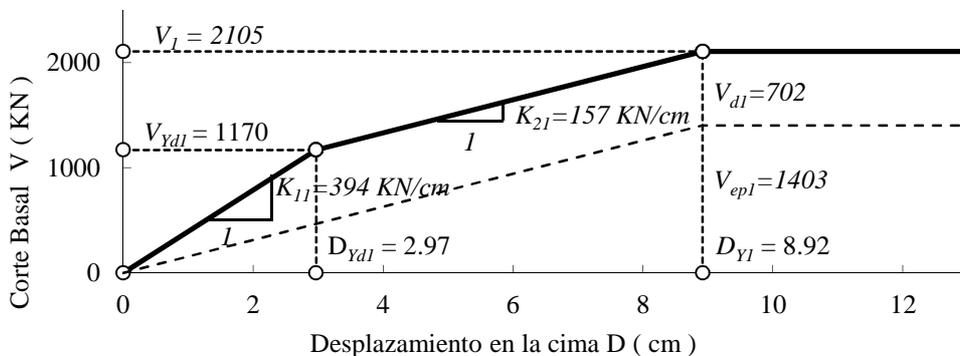


Figura 7: Tabiques adosados.

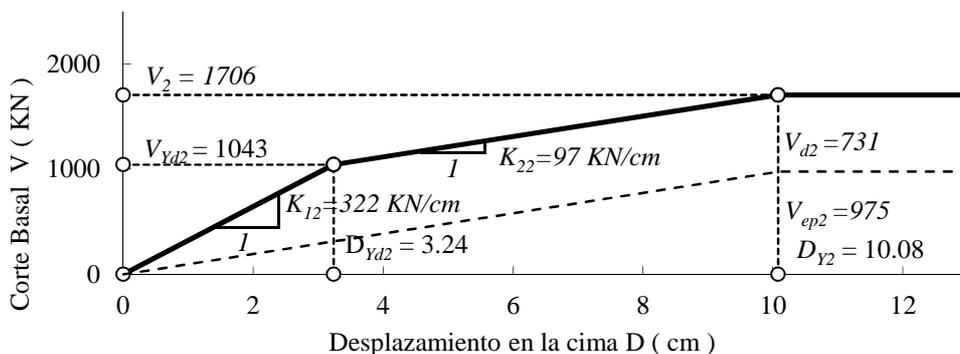


Figura 8: Tabiques acoplados.

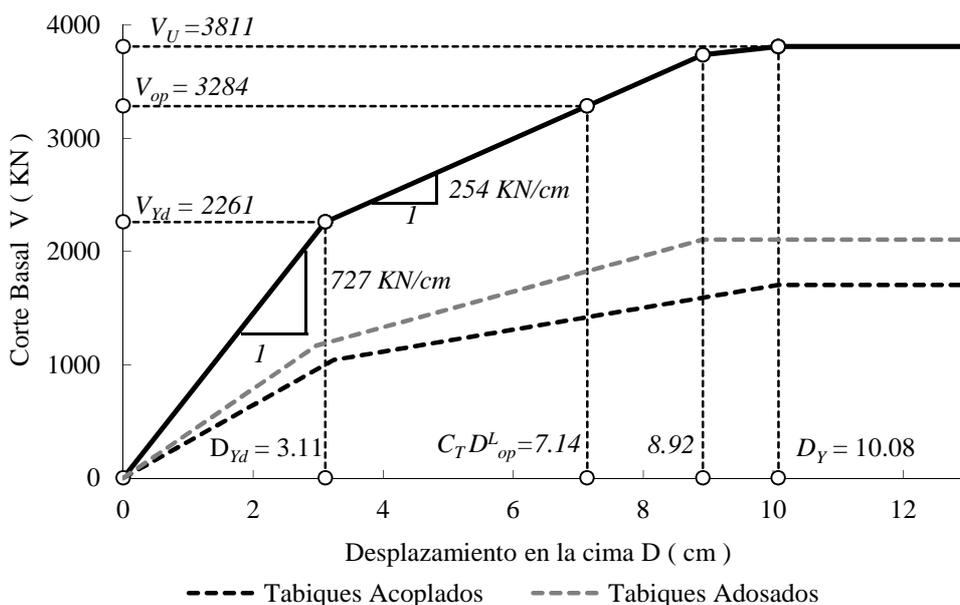


Figura 9: Diagramas push-over resultantes del diseño preliminar.

	Tabiques adosados		Tabiques acoplados	
	$D_{co}$	$D_{op}$	$D_{co}$	$D_{op}$
Total	2.82	7.77	2.84	8.16
Límite	2.97	8.92	3.24	10.08

**Tabla 2:** Desplazamientos totales y desplazamientos límites [cm]

En la Tabla 2 se observa que los desplazamientos totales son más cercanos a sus valores límites para el caso sísmos frecuentes – desempeño completamente operacional, donde se llega a 95% del valor límite para los tabiques adosados.

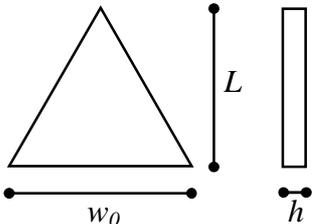
Este resultado puede considerarse aceptable en el marco de las aproximaciones del diseño preliminar.

## 4.2 Diseño de los dispositivos de cada plano resistente

### 4.2.1 Tabiques adosados

En la Tabla 3 se describen las características de las chapas de cada diseño y en la Tabla 4 la cantidad de chapas de cada dispositivo, su desplazamiento de fluencia, su módulo de elasticidad y la carga de fluencia, según su ubicación.

Característica	Unidad	Disp. Rig.	Disp. Flex.
$w_0$	cm	20.00	30.00
$L$	cm	20.00	30.00
$H$	cm	5.08	5.08
$\dagger f_{fl}$	KN/cm <sup>2</sup>	24.00	24.00
$E$	KN/cm <sup>2</sup>	21000	21000
$\nu_{fl}$		0.114%	0.114%



**Tabla 3:** Características de las chapas

Ubicación	Dispositivos Rígidos				Dispositivos Flexibles			
	N	$\Delta_Y$	$E_d$	$F_Y$	N	$\Delta_Y$	$E_d$	$F_Y$
x (cm)	u.	cm	KN/cm	KN	u.	cm	KN/cm	KN
150	-	-	-	-	-	-	-	-
300	8	0.090	9176.76	825.80	2	0.202	1019.64	205.94
600	9	0.090	10323.85	929.03	8	0.202	4078.56	823.74
900	8	0.090	9176.76	825.80	7	0.202	3568.74	720.77
1200	6	0.090	6882.57	619.35	5	0.202	2549.10	514.84
1500	3	0.090	3441.28	309.68	3	0.202	1529.46	308.90

**Tabla 4:** Características de cada dispositivo

### 4.2.2 Tabiques acoplados

En la Tabla 5 se describen las características de las chapas de cada diseño y en la Tabla 6 la cantidad de chapas de cada dispositivo, su desplazamiento de fluencia, su módulo de elasticidad y la carga de fluencia, según su ubicación.

Característica	Unidad	Disp. Rig.	Disp. Flex.
$w_0$	cm	20.00	50.00
$L$	cm	20.00	53.00
$H$	cm	5.08	5.08
$\dagger_{fl}$	KN/cm <sup>2</sup>	24.00	24.00
$E$	KN/cm <sup>2</sup>	21000	21000
$\nu_{fl}$	%	0.114	0.114

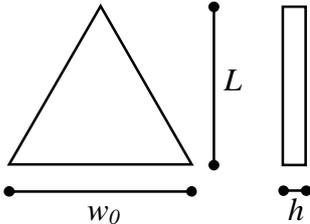


Tabla 5: Características de las chapas

Ubicación	Dispositivos Rígidos				Dispositivos Flexibles			
	N	$\Delta_Y$	$E_d$	$F_Y$	N	$\Delta_Y$	$E_d$	$F_Y$
x (cm)	u.	cm	KN/cm	KN	u.	cm	KN/cm	KN
150	-	-	-	-	-	-	-	-
300	6	0.090	6882.57	619.35	-	-	-	-
600	6	0.090	6882.57	619.35	6	0.630	924.60	582.84
900	5	0.090	5735.47	516.13	5	0.630	770.50	485.70
1200	4	0.090	4588.38	412.90	4	0.630	616.40	388.56
1500	2	0.090	2294.19	206.45	2	0.630	308.20	194.28

Tabla 6: Características de cada dispositivo

En todos los casos se observa que los disipadores ubicados a 150 cm de la base no son necesarios y en el caso de los tabiques acoplados se observan que los dispositivos adoptados se deben colocar a partir de los 600 cm de la base prescindiendo de los ubicados en los dos primeros niveles.

También se resalta la necesidad de aumentar notablemente el desplazamiento de fluencia de los dispositivos para poder compatibilizar el desplazamiento en la cima del plano con el propuesto en el diseño preliminar, en el caso de los tabiques adosados se lleva a más del doble, y en el caso de los tabiques acoplados un 700% mayores.

### 4.3 Verificación inelástica

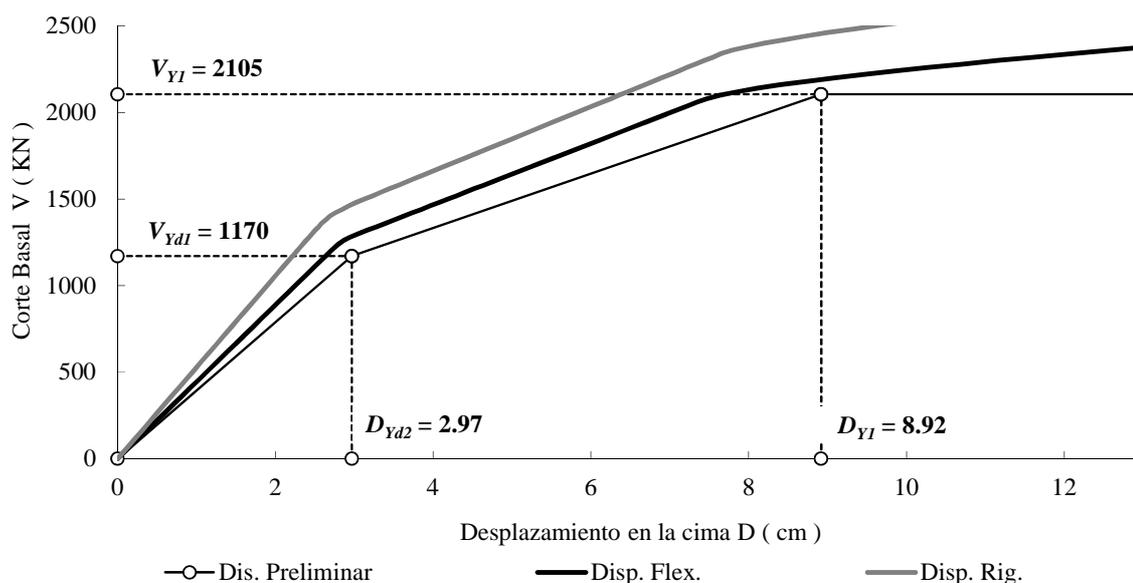
Para modelar el sistema, la estructura es discretizada en planos resistentes verticales conectados en cada nivel por una losa rígida en su plano y flexible fuera de él. El modelo tiene tres grados de libertad por piso, dos horizontales y el giro alrededor del eje vertical. (Möller et al., 2003). Cada plano resistente es a su vez discretizado con elementos de barra para considerar los diferentes mecanismos que contribuyen al comportamiento histerético en las zonas críticas de las barras de hormigón armado (Möller and Foschi, 2003). Se ha incorporado un elemento de barra para representar la disipación de energía (Ascheri et al., 2009). Consiste

en tres resortes no lineales, con adecuadas ecuaciones constitutivas, ubicados en posición genérica dentro de una barra elástica que representa los brazos de instalación del dispositivo físico.

La rigidez del sistema se calcula por ensamble de las rigideces de cada plano, que son obtenidas a partir de la rigidez de cada elemento de barra. Las masas están concentradas en cada piso, donde también se tiene en cuenta la inercia rotacional de la masa del piso y la excentricidad del centro de masa con respecto al eje vertical. Amortiguamiento proporcional de Rayleigh es asumido, con una combinación lineal de masa y rigidez. Las cargas gravitacionales son incluidas en cada plano, para considerar su influencia en los esfuerzos internos de cada barra y en la evaluación de otros parámetros de respuestas. Las cargas laterales para el push-over, o el acelerograma para los análisis dinámicos, se aplican en el sistema global. Se considera la torsión accidental desplazando el centro de masa.

#### 4.3.1 Análisis no lineal estático

En las Figuras 10 y 11 se muestra el resultado del análisis estático no lineal para ambos diseños de dispositivos y para ambos planos independientemente. También se incluye la curva push-over del diseño preliminar para facilitar la comparación.



**Figura 10:** Diagramas push-over de los tabiques adosados.

En ambos casos se observa claramente como los resultados de los planos diseñados con los dispositivos teniendo en cuenta la influencia de la flexibilidad de los mismos en el desplazamiento en la cima, se ajustan mucho más fielmente a la curva push-over utilizada para dicho diseño. Dicha situación es aún más notoria en el caso de los tabiques acoplados.

En la Figura 12 se muestran los diagramas push-over, corte basal vs. desplazamiento en la cima, de los sistemas estructurales formados por los tabiques acoplados y adosados con ambos casos de diseño de dispositivos.

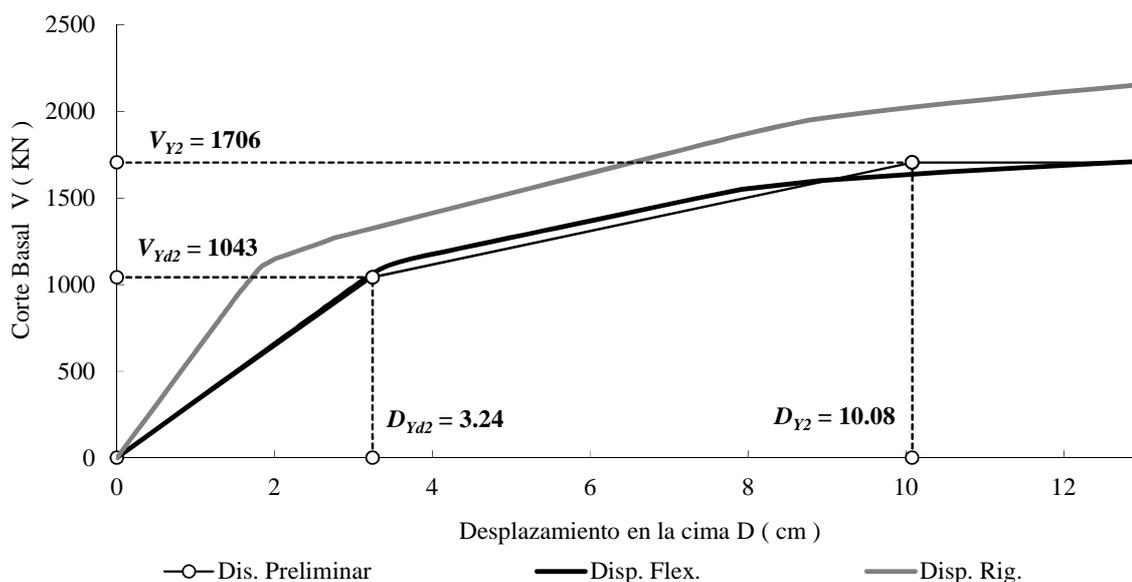


Figura 11: Diagramas push-over de los tabiques acoplados.

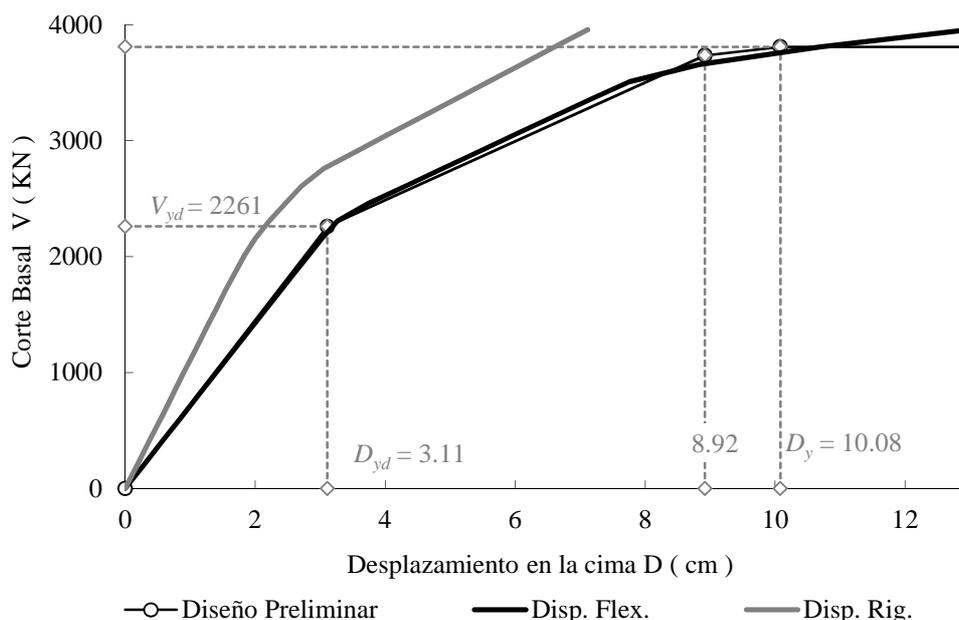


Figura 12: Diagramas push-over del sistema resultante.

El comportamiento de la estructura con los dispositivos diseñados teniendo en cuenta la flexibilidad de los mismos en el desplazamiento en la cima de cada plano que lo compone muestra una notable aproximación al previsto en el diseño preliminar.

### 4.3.2 Análisis no lineal dinámico

En la Tabla 7 se muestran los resultados del análisis dinámico no lineal, siendo  $D_{max}$  el desplazamiento máximo en la cima,  $DIST(\%)$  la distorsión máxima de piso y  $V_{max}$  el corte basal máximo registrados en el sistema. En todos los casos los valores indicados corresponden al promedio más un desvío estándar de los valores máximos obtenidos de las treinta simulaciones para cada nivel sísmico evaluado.

En el caso del diseño con dispositivos flexibles y sismos raros, los desplazamientos máximos y distorsiones máximas se dan para el plano correspondiente a los tabiques acoplados, con valores medios más un desvío estándar de 8.50 cm y 0,69% respectivamente. Solo en tres de los treinta casos se sobrepasa el valor límite del 0,70%. A pesar de ello el plano que absorbe más corte y que trabaja en mayor cantidad de veces disipando energía a través de los dispositivos es el correspondiente a tabiques adosados, como era de prever en el push over de la Figura 9.

Para el sistema diseñado con dispositivos rígidos, se obtiene menores distorsiones de piso y desplazamiento en la cima, que es previsible observando el push-over de la Figura 12, pero en consecuencia los valores de corte en la bases superan en más de un 10% los correspondiente al diseño anterior.

Para los sismos frecuentes en el caso del diseño con dispositivos flexibles es de resaltar que en ningún caso se alcanza la entrada en fluencia de los dispositivos de disipación de energía trabajando para el caso de tabiques adosados con valores máximos cercanos al 60% de la tensión de fluencia considerando valores medios más un desvío estándar y con valores extremos de 82% considerando los treinta casos analizados, por el contrario en el caso del sistema diseñado con dispositivos rígidos el valor medio más un desvío estándar alcanza un valor de 95% y se destaca la entrada en fluencia de al menos un dispositivo en el 10 % de los casos evaluados.

Parámetro	Dispositivos Rígidos		Dispositivos Flexibles	
	Sismo frec.	Sismo raro	Sismo frec.	Sismo raro
$D_{max}$ (cm)	1.46	5.79	2.00	7.57
$DIST$ (%)	0.11	0.47	0.15	0.62
$V_{max}$ (KN)	1582.91	4313.46	1361.97	3790.79

**Tabla 7:** Resultados del sistema para el análisis dinámico no lineal correspondiente a promedio más un desvío estándar de los 30 casos analizados en cada condición

## 5 CONCLUSIONES

En este trabajo se plantea una metodología que permite relacionar el desplazamiento en la cima del plano estudiado con el desplazamiento de fluencia de los disipadores, lo cual sumado a la aplicación del procedimiento de diseño de disipadores por el método de las fuerzas planteado en trabajos anteriores, permite adoptar un criterio único de diseño dentro de la metodología de diseño preliminar para estructuras sin control y con control, evitando la adopción de una rigidez inicial para este último caso y respetando los conceptos del diseño basado en desplazamientos.

Se aplicó el Método de las Fuerzas y la condición de optimización consistente en diseñar un conjunto de disipadores que entren en fluencia simultáneamente, determinando el desplazamiento en la cima y variando las características de los dispositivos para que el mismo se ajuste al propuesto en el diseño preliminar.

La simplicidad del procedimiento propuesto lo hace apto para integrar metodologías de diseño preliminar de sistemas estructurales sismorresistentes, ya que es de muy fácil aplicación en una simple tabla de cálculo.

Un ejemplo, donde se encuentran dos sistemas, uno aplicado a tabiques adosados y otro a tabiques acoplados con brazos de instalación, formando parte de un sistema estructural, y sus

respectivas verificaciones inelásticas, han servido para comprobar la eficacia de la propuesta y su condición superadora con respecto al procedimiento previamente utilizado donde no se tenía en cuenta el desplazamiento de fluencia de los dispositivos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad Nacional de Rosario por el apoyo recibido para la realización de este trabajo.

## REFERENCIAS

- Ascheri, J.P., Möller, O., Rubinstein, M. (2009) “Implementación de un elemento no lineal para la modelización del comportamiento de un disipador de energía por fluencia de acero” *Mecánica Computacional XXVIII*: 363-379.
- Aschheim, M.A., Black, E.F. (2000) “Yield point spectra for seismic design and rehabilitation”, *Earthquake Spectra*, EERI; 16(2): 317–335.
- Fajfar, P. (1992) “Equivalent ductility factors, taking into account low cycle fatigue” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 21: 837-848.
- INPRES (1995) “Microzonificación sísmica del Gran Mendoza”, *Publicación técnica* N° 19.
- INPRES-CIRSOC 103 (2005) “Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes Parte II, Construcciones de Hormigón Armado”, INPRES-CIRSOC, Argentina.
- Möller, O., Foschi, R.O. (2003) “Reliability evaluation in seismic design : a response surface methodology” *Earthquake Spectra*, 19(3): 579-603.
- Möller, O., Rubinstein, M., Cóceres, H. (2003) “Combinación de planos sismorresistentes para análisis dinámico no lineal de estructuras espaciales”, *Mecánica Computacional XXII*: 997-1011, AMCA.
- Paulay, T. (2002) “An estimation of displacement limits for ductile systems”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31: 583-599.
- Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., Kowalsky, M. J. (2007) *Displacement-Based Seismic Design of Structures*, IUSS Press.
- Rubinstein, M., Möller, O., Giuliano, A. (2007) “Preliminary design and inelastic assessment of earthquake-resistant structural systems” *Structural Engineering and Mechanics*, 26(3): 297-313.
- Rubinstein, M.; Ascheri, J.P.; Möller, O.; Giuliano, A. (2011) “Diseño óptimo de disipadores, por fluencia de metal, para tabiques sismorresistentes acoplados o adosados, aplicando el método de las fuerzas”, *Memorias 9no. Encuentro de Investigadores y Profesionales de la construcción – 9 EIPAC*, ID-E02-03.
- Rubinstein, M.; Möller, O. ; Ascheri, J.P.; Giuliano, A. (2012) “Methodology for the seismic design of structural systems, including passive control”, *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisboa, Portugal, ID 1084.
- SEAOC Vision 2000 Committee (1995) “Performance based seismic engineering of buildings”, *Structural Engineers Association of California*, Sacramento, California, U.S.A.
- Soong, T. T., and Dargush, G. F. (1997) *Passive Energy Dissipation System in Structural Engineering*, John Wiley & Sons Ltd.
- Tjhin, T.N., Ascheim, M.A., Wallace, J.W. (2004) “Yield displacement estimates for displacement – based seismic design of ductile reinforced concrete structural wall buildings”, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Canada, ID 1035.