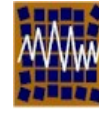




Universidad de Concepción
Departamento de Ingeniería Civil



Asociación Chilena de Sismología e
Ingeniería Antisísmica

EFFECTO DE LA HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS EN LA CAPACIDAD DE DEFORMACION LATERAL DE COLUMNAS DE CONCRETO REFORZADO **N° A12-18**

Rodríguez, Mario E.⁽¹⁾ y Padilla Daniel A.⁽²⁾

Universidad Nacional Autónoma de México, México
Apartado Postal 70-290, Ciudad Universitaria, CP 04510, México D.F.

(1) Investigador, mrod@servidor.unam.mx

(2) Estudiante Postgrado, dpadilla_mringenieros@cablevision.net.mx

RESUMEN

En esta investigación se evalúa el daño observado en ensayos de columnas de concreto reforzado sometidas a acciones del tipo sísmico. Para este fin se creó una base de datos que incluye 79 columnas de concreto reforzado las que fueron ensayadas en laboratorios de diversas partes del mundo. Los especímenes tenían diferentes características de geometría y detallado, además en los ensayos se aplicaron diferentes historias de desplazamientos. A partir de los resultados de evaluar esta base de datos se identificaron las deformaciones laterales de colapso en las columnas, las que se compararon con predicciones para este parámetro. Los resultados encontrados mostraron que el procedimiento propuesto para evaluar la capacidad de deformación lateral de columnas llevó a una buena correlación entre las capacidades de deformación medidas y calculadas, en particular este procedimiento fue capaz de tomar en cuenta el efecto de diferentes tipos de historias de desplazamientos aplicados en los ensayos de columnas. Estos resultados sirvieron para validar un índice de daño por sismo en edificaciones propuesto por los autores y brevemente descrito en este trabajo.

Palabras Clave: columnas, concreto reforzado, cargas laterales, historia de desplazamientos, drift

INTRODUCCION

En los procedimientos tradicionales de diseño sísmico es común emplear parámetros de la respuesta sísmica de estructuras donde solo se toma en cuenta sus respuestas máximas, ignorando si a estas respuestas les corresponden pocos o muchos ciclos de respuesta inelástica. Por ejemplo, ésta es una característica relevante de los llamados espectros sísmicos de diseño, herramienta comúnmente empleada en el diseño sismorresistente. Para una estructura específica, durante un sismo, así como en ensayos en laboratorio de tipo estático o dinámico, las características de los mencionados ciclos de respuesta

inelástica dependen principalmente de la historia de desplazamientos a la que se ve sometida la estructura. En el caso del problema dinámico existen otros factores que influyen también en los referidos ciclos de respuesta inelástica, tales como la velocidad de deformación, relación entre las frecuencias de vibrar de la estructura y las del terreno, influencia de modos superiores, etc. En esta investigación se analiza el efecto de la historia de desplazamientos en la respuesta sísmica, particularmente en la capacidad de deformación lateral de columnas de concreto reforzado. Para este fin se evaluó la respuesta observada en laboratorio ante cargas laterales en 79 columnas de concreto reforzado, las que fueron ensayadas en laboratorios de USA, Japón, Nueva Zelanda y Canadá.

MODELO EMPLEADO PARA LA EVALUACION DEL EFECTO DE LA HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS EN LA CAPACIDAD DE DEFORMACION DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO

Para tomar en cuenta el efecto de la historia de desplazamiento en la capacidad de deformación lateral de elementos de concreto reforzado se emplea un parámetro que interviene en un índice de daño por sismo propuesto por Rodríguez y Padilla (2005). Este índice se basa en una modificación del parámetro de daño por sismo propuesto por Rodríguez (1994). Para el caso de un oscilador de 1GDL el índice de daño por sismo propuesto por Rodríguez y Padilla (2005) se define como

$$I_d = \frac{E_H}{E_\lambda} \quad (1)$$

En la expresión anterior, E_H es la energía histerética por unidad de masa disipada por un oscilador de 1GDL con deformación relativa máxima, resistencia y masa iguales a θ_m , r y m , respectivamente. La deformación relativa θ_m es el cociente del desplazamiento lateral máximo, u_m , del referido oscilador entre la altura de columna, h .

El parámetro E_λ se define como:

$$E_\lambda = (\omega \theta_c h)^2 \quad (2)$$

De acuerdo con la Ec. 2, E_λ es la energía absorbida por un oscilador elástico de 1GDL con frecuencia circular ω cuando vibra con deformación relativa máxima $\pm \theta_c$ en un ciclo completo. El parámetro θ_c es un valor de referencia en el modelo de daño propuesto y se define como la deformación relativa máxima en la estructura correspondiente al colapso en un sismo o historia de carga lateral cíclica reversible. En la condición de colapso ($I_d = 1.0$), la energía E_λ es igual a la energía histerética E_H .

La Fig. 1 muestra de manera gráfica los diferentes parámetros que intervienen en el índice de daño propuesto I_d . El parámetro θ_y en la Fig. 1 es la deformación relativa de fluencia en el sistema de 1GDL.

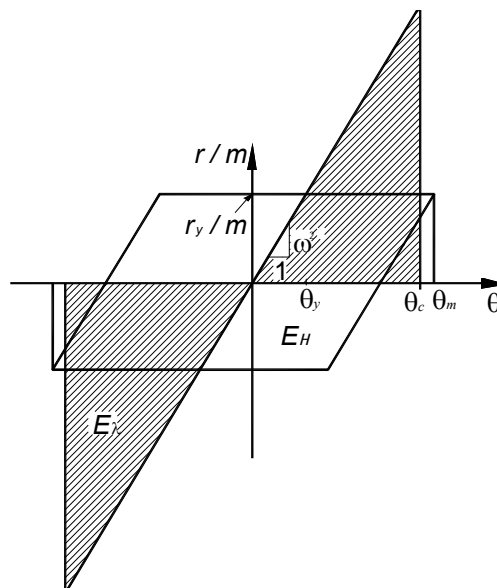


Figura 1 Relación fuerza-deformación de una estructura no lineal, con comportamiento elasto-plástico, y de una estructura lineal de referencia con deformación de colapso de referencia

En la definición del parámetro I_D (Rodríguez,1994), así como en el índice de daño I_d , interviene el parámetro γ , el cual se define como:

$$\gamma = \frac{\sqrt{E_H}}{\omega \theta_m h} \quad (3)$$

Fajfar (1992) de manera independiente ha propuesto el empleo del parámetro γ en un procedimiento de diseño por sismo en el cual se define una ductilidad en la estructura que toma en cuenta la duración del movimiento sísmico.

El parámetro E_H se obtiene de la Ec. 3:

$$E_H = \gamma^2 (\omega \theta_m h)^2 \quad (4)$$

El índice de daño por sismo, I_d , propuesto por Rodríguez y Padilla (2005) se obtiene de combinar las Ecs. 1, 2 y 4:

$$I_d = \left(\frac{\gamma \theta_m}{\theta_c} \right)^2 \quad (5)$$

Es de interés mostrar la manera como la deformación relativa de colapso θ_c se relaciona con el parámetro γ . Esta relación se obtiene de considerar la condición de colapso, lo que lleva a $I_d = 1.0$ en la Ec. 5, de donde se obtiene:

$$\theta_c = \gamma \theta_m \quad (6)$$

Como se muestra en este trabajo, el parámetro γ toma en cuenta el efecto de la historia de desplazamientos en la capacidad de deformación lateral de elementos de concreto reforzado.

Las características del parámetro θ_c también se evalúan en este trabajo con la siguiente expresión, la cual se obtiene combinando las Ecs. 1 y 2 en la condición de colapso ($I_d=1.0$):

$$\theta_c^2 = \frac{E_H}{(\omega h)^2} \quad (7)$$

BASE DE DATOS EXPERIMENTAL PARA EVALUAR EL MODELO EMPLEADO

Para la evaluación del efecto de la historia de desplazamiento en la capacidad de deformación lateral de elementos de concreto reforzado se evaluó un grupo de 79 especímenes ensayados ante cargas laterales de diversos tipos en los últimos 30 años en Nueva Zelanda, Estados Unidos, Canadá, y Japón (Rodríguez y Padilla, 2005). La Tabla 1 muestra un resumen de las características de la base de datos experimental usada para evaluar el índice de daño propuesto. Esta base de datos fue obtenida de dos publicaciones y una página Web, las publicaciones son NIST 5285 (Taylor et al, 1993) y NIST 5984 (Taylor et al, 1997) los cuales contienen información de ensayos ante cargas laterales de elementos circulares y rectangulares respectivamente. La página Web (<http://www.ce.washington.edu/~peeral/>) permitió completar la información requerida para la base de datos.

Los parámetros mostrados en el lado derecho de la Tabla 1 corresponden al esfuerzo de compresión del concreto f'_c , el esfuerzo de fluencia del acero longitudinal f_y , el esfuerzo de fluencia del acero transversal f_{yt} , la relación de carga axial definida como el cociente entre la carga axial P aplicada y el producto de la sección bruta A_g por f'_c , el porcentaje de refuerzo transversal ρ_t calculado como la relación volumétrica entre refuerzo transversal y el volumen del núcleo de concreto, la relación de confinamiento definida como producto de ρ_t con el cociente entre f_{yt} y f'_c , el desplazamiento relativo θ_m , calculado como el cociente entre el desplazamiento máximo u_m y la altura del elemento h , y la relación de claro de cortante calculada como el cociente entre el momento actuante M y el producto entre el cortante actuante V y el peralte D del elemento (M/VD).

El lado izquierdo de la Tabla 1 muestra diversas características de los especímenes estudiados. Se muestra el número de elementos con y sin descripción de daño, esta descripción de daño permitió calibrar el índice de daño propuesto para estados intermedios de daño. Aquellos elementos que no cuentan con descripción de daño intermedio se emplearon sólo para la calibración del índice propuesto en la condición de colapso. La Tabla 1 también muestra el número de elementos confinados y no confinados. Se entiende por elementos confinados aquellos elementos que tienen una relación de confinamiento K_e mayor a 0.1, donde K_e es el producto de la relación de refuerzo transversal ρ_t con el cociente f_{yt}/f'_c . También la tabla muestra los tipos de carga empleados en la base de datos, las que se clasificaron en cargas monotónicas, cargas cíclicas reversibles y cargas aleatorias, éstas últimas son las que corresponderían a un registro sísmico.

Tabla 1 Características de los especímenes estudiados

<i>Característica</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Característica</i>	<i>Intervalo</i>
<i>Especímenes estudiados</i>	79	f_c (Mpa)	19.8 – 115.8
<i>Especímenes circulares</i>	24	f_y (Mpa)	240 - 511
<i>Especímenes rectangulares</i>	53	f_{yt} (Mpa)	255 – 792
<i>Especímenes con descripción de daño</i>	23	$P/A_g f_c$	0 – 0.9
<i>Especímenes sin descripción de daño</i>	54	ρ_t	0.001 – 0.039
<i>Especímenes confinados</i>	36	$\rho_t (f_{yt}, f_c)$	0.02 – 0.5
<i>Especímenes no confinados</i>	41	θ_m (%)	0.84 – 10.8
<i>Elementos con relación de $P/A_g f_c < 0.1$</i>	29	M/VD	1.5 – 9.9
<i>Elementos con relación $0.1 < P/A_g f_c < 0.3$</i>	26		
<i>Elementos con relación con $P/A_g f_c > 0.3$</i>	22		
<i>Historias de carga monotónica</i>	2		
<i>Historias de carga cíclica reversible</i>	64		
<i>Historias de carga aleatoria</i>	11		
<i>Falla flexión</i>	41		
<i>Falla cortante</i>	21		
<i>Otros tipos de falla (Combinadas)</i>	16		

Las historias de desplazamientos aplicadas en los elementos de la base de datos analizada son de forma variable, tal como se observa en la Fig. 2. Los diferentes tipos de historia de desplazamientos son: creciente, decreciente, o constante, con diferentes niveles de ductilidad de desplazamiento μ . En general, en cada ciclo i , para una ductilidad μ_i , el ciclo se puede repetir o no, por lo que las historias de desplazamientos se pueden clasificar en función de la relación entre μ_i y μ_{i+1} .

En este trabajo se consideró como estado de colapso la pérdida del 20% de capacidad resistente lateral, con lo cual se obtiene el parámetro θ_m relacionado con el colapso experimental, lo que permite la identificación del colapso en cada elemento directamente sobre la grafica F vs θ , donde F es la carga lateral aplicada. Es posible que un elemento llegue al colapso antes que se presente la pérdida mencionada de resistencia, en estos casos se consideró como colapso al último ciclo experimental completo, debido a que se sabe que todos los elementos estructurales ensayados fueron llevados siempre al colapso.

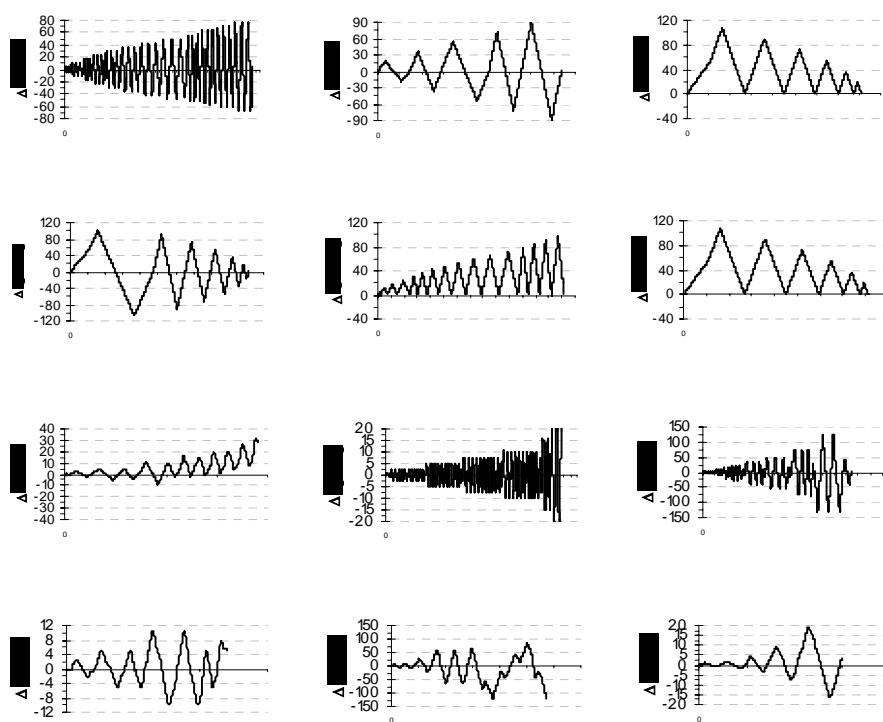


Figura 2 Historias de desplazamientos típicos en los especímenes estudiados

EVALUACION DE RESULTADOS

Las Ecs. 4 y 7 muestran que el parámetro $E_H / (\omega h)^2$ es directamente proporcional a θ_c^2 y θ_m^2 . Esta característica sugirió estudiar la relación entre estos parámetros. Para este fin, la Fig 3 muestra los resultados de evaluar el parámetro $E_H / (\omega h)^2$ en función de la deformación observada de colapso θ_m para los 79 especímenes estudiados cuyas características se muestran en la Tabla 1.

De acuerdo con la Ec. 4 la condición $\gamma = 1$ lleva a

$$\frac{E_H}{(\omega h)^2} = \theta_m^2 \quad (8)$$

La curva continua de la Fig. 3 representa la Ec. 8, se observa que esta curva representa aproximadamente la media de los resultados experimentales. De acuerdo con la Ec. 5, si además de la condición $\gamma = 1$ involucrada en la curva continua se acepta para ésta la condición $I_d = 1$, es decir la condición de colapso, se obtendría que los resultados experimentales que caen en la curva continua deberían cumplir con la condición de que la deformación θ_m debe ser igual a la de colapso de referencia, θ_c .

Los resultados experimentales que en la Fig. 3 caen encima de la curva continua cumplen con la siguiente relación:

$$E_H \geq (\omega h \theta_m)^2 \quad (9)$$

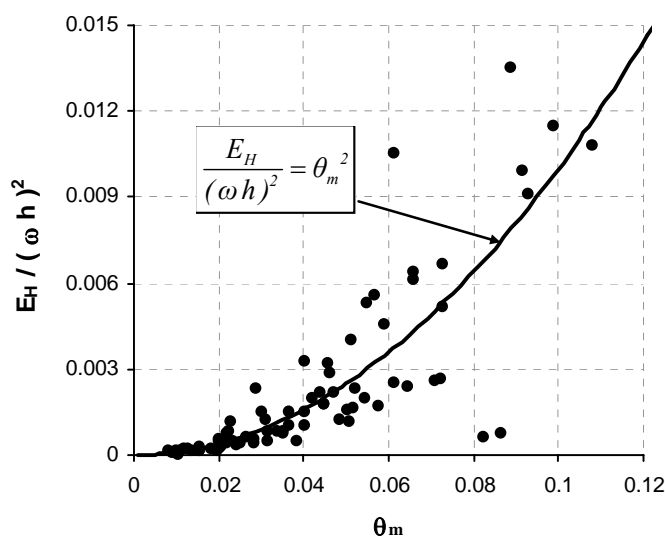


Figura 3 Evaluación de la energía histerética adimensional y deformación relativa de colapso observada en los especímenes estudiados

Considerando las Ecs. 4 y 9 se infiere que los casos de los puntos que están sobre la línea continua de la Fig 3 deben cumplir la condición $\gamma > 1$. Con un raciocinio semejante se infiere que los casos de los puntos que están bajo la curva continua de la Fig. 3 deben cumplir la condición $\gamma < 1$.

Como en realidad todos los resultados experimentales que se muestran en la Fig. 3 corresponden al colapso, es decir $I_d = 1$, para llegar a esta condición de acuerdo con la Ec. 5 y los valores de γ anteriormente mencionados, es necesario que para los casos que caen encima de la curva continua se debe cumplir $\gamma \geq 1$ y $\theta_m \leq \theta_c$, y para los que caen bajo la curva continua se debe cumplir $\gamma \leq 1$ y $\theta_m \geq \theta_c$.

Los casos que cumplen $\gamma > 1$ corresponderían a sismos con un número importante de incursiones inelásticas o a casos de ensayos en los que se aplican un número considerable de ciclos inelásticos de carga lateral. Por el contrario, los casos $\gamma < 1$ corresponderían a sismos con pocas incursiones inelásticas importantes o a casos de ensayos con pocos ciclos inelásticos de carga lateral. El caso $\gamma = 1$, al que corresponde la curva continua de la Fig. 3, es de interés por ser una condición de referencia que divide a los casos de pocos y varios ciclos de carga, es decir esta condición define un límite del efecto de las historias de desplazamientos en la estructura. De acuerdo con la Ec. 4 el caso $\gamma = 1$ corresponde a ciclos de carga cuya energía histerética es igual a la que absorbería un oscilador elástico en un ciclo completo con deformaciones relativas máximas iguales a $\pm \theta_m$.

Como se puede observar en la Fig. 3 y en la definición de los parámetros que intervienen en el modelo empleado, en la respuesta no lineal de elementos ensayados en laboratorio, el efecto del parámetro γ es relevante. Este parámetro refleja la influencia de la historia de desplazamientos en la estructura. Estos resultados indican que a un incremento del valor del parámetro γ le correspondería un menor valor del parámetro θ_m en el colapso, o dicho de otra forma, a mayor número de ciclos (efecto de la historia de desplazamientos) menor será el valor de θ_m en el colapso. Es de interés verificar si estas características del modelo empleado son congruentes con un análisis más detallado de los resultados experimentales observados en la base de datos seleccionada para este estudio. Esta verificación se hace en lo que sigue.

Tabla 2 Análisis del efecto de la duración para siete grupos de elementos con características geométricas y mecánicas semejantes

<i>Elemento</i>	γ	θ_m	$\gamma \theta_m$		<i>Elemento</i>	γ	θ_m	$\gamma \theta_m$	
ZHO22309	0.58	0.0383	0.0224	(e) $P/Agf^c < 0.33$ 85% < Conf. < 146% 3 < M/V D < 4	KANSTC1	1.15	0.0461	0.0532	(c) $P/Agf^c < 0.1$ 25% < Conf. < 37% 3.1 < M/V D < 5
ARA82102	0.85	0.0340	0.0290		OHNO84L3	1.24	0.0456	0.0564	
WAT89U9	1.14	0.0218	0.0248		SOES86U1	0.81	0.0612	0.0498	
ANG81U3	0.91	0.0318	0.0290		TP001	1.66	0.0290	0.0480	
ZHO1248	0.87	0.0366	0.0318		TP002	1.07	0.0440	0.0470	
ANG81U4	1.05	0.0365	0.0383	TP005	0.71	0.0724	0.0510	(a) $P/Agf^c < 0.1$ 0.1 37% < Conf. < 47% 5.3 < M/V D < 10	
TANA90U1	0.96	0.0401	0.0386	LEH1015	1.08	0.099	0.107		
TANA90U4	0.72	0.0487	0.0349	LEH815	1.09	0.091	0.100		
TANA90U2	0.80	0.0404	0.0322	KOWAU1	1.67	0.062	0.103		
ZAHN86U7	0.79	0.0516	0.0407	KOWAU2	0.96	0.108	0.104		
WAT89U6	0.98	0.0157	0.0154	KUN7	1.14	0.059	0.067	(b) $P/Agf^c < 0.1$ 49% < Conf. < 57% M/V D = 4.5	
WAT89U7	1.27	0.0084	0.0106	KUN8	1.31	0.057	0.075		
WAT89U8	1.15	0.0111	0.0127	KUN9	1.18	0.066	0.078		
SOES86U2	0.69	0.0314	0.0218	KUN10	1.21	0.066	0.079		
SOES86U3	0.71	0.0282	0.0200	KUN11	1.32	0.055	0.073		
SOES86U4	0.94	0.022	0.0207	KUN12	1.80	0.039	0.07		

Para llevar a cabo la verificación mencionada, en la base de datos experimental de este estudio se seleccionó un grupo de elementos donde todos los parámetros que definen las propiedades estructurales son iguales ó similares, menos la historia de desplazamientos, de esta forma se podría evaluar la validez de las afirmaciones hechas en los párrafos anteriores acerca de este efecto. Para este fin, la Tabla 2 muestra siete grupos de elementos estructurales seleccionados de la base de datos experimental, de manera que sus parámetros característicos en cada grupo tengan valores semejantes. Estos parámetros son la relación de claro de cortante ($M/V D$), relación de carga axial (P/Agf^c), y confinamiento ($Conf.$). Este ultimo parámetro resulta de normalizar la cuantía de refuerzo transversal volumétrico con respecto a la cuantía de refuerzo transversal requerida por las recomendaciones del ATC-32 (1996).

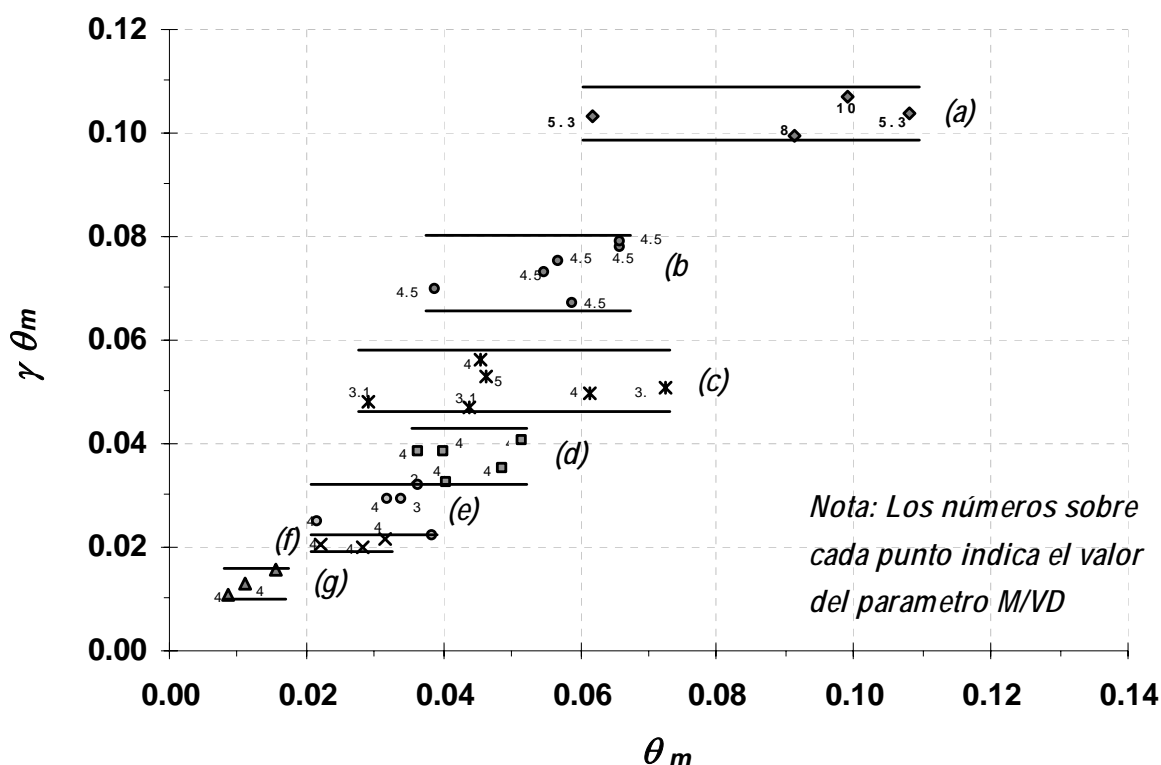


Figura 4 Variación de $\gamma \theta_m$ con respecto a θ_m para grupos de elementos estructurales con características similares de relación de aspecto, confinamiento y carga axial.

La Fig. 4 muestra la relación $\gamma \theta_m$ vs θ_m , para los casos mostrados en la Tabla 2, con el fin de confirmar la hipótesis que para elementos con la misma geometría, confinamiento y relación de carga axial existe un valor único del parámetro θ_c , asociado a una condición de colapso de referencia. Los valores de γ han sido calculados empleando la Ec. 3. En la Fig. 4 se observa que para cada grupo de elementos estudiados con características similares se tiene una tendencia a un valor único de $\gamma \theta_m$, es decir al valor θ_c . Así mismo, en estos grupos se observan tendencias de la influencia de la relación de claro de cortante, carga axial y confinamiento en la capacidad de deformación última de un elemento de concreto reforzado. Por ejemplo se puede observar que a mayor relación de carga axial, menor es el desplazamiento de colapso con y sin efecto de la historia de desplazamientos.

En el procedimiento de evaluación de la capacidad de deformación lateral que se propone en este trabajo es necesario conocer el valor del parámetro θ_c . Con base en el empleo de las Ecs. 3 y 6, y en la información experimental de la base de datos seleccionada para este estudio, el parámetro θ_c se evaluó para esta base de datos, en función de parámetros que representan al confinamiento y a la relación de esbeltez del elemento estructural. Además, dependiendo de la relación de carga axial ($P/A_g f_c$), esta evaluación se hizo considerando tres grupos para esta base de datos. Se emplearon regresiones lineales, con base en análisis estadísticos, minimizando la variabilidad de los resultados medidos y calculados de estas regresiones lineales. Los resultados de esta evaluación se muestran en la Fig. 5, en ella se indican las relaciones lineales que se proponen para cada intervalo de relación de carga axial.

Para los parámetros α_1 y α_2 , que intervienen en estas relaciones lineales, se obtuvieron los valores de 0.15 y 0.10, respectivamente.

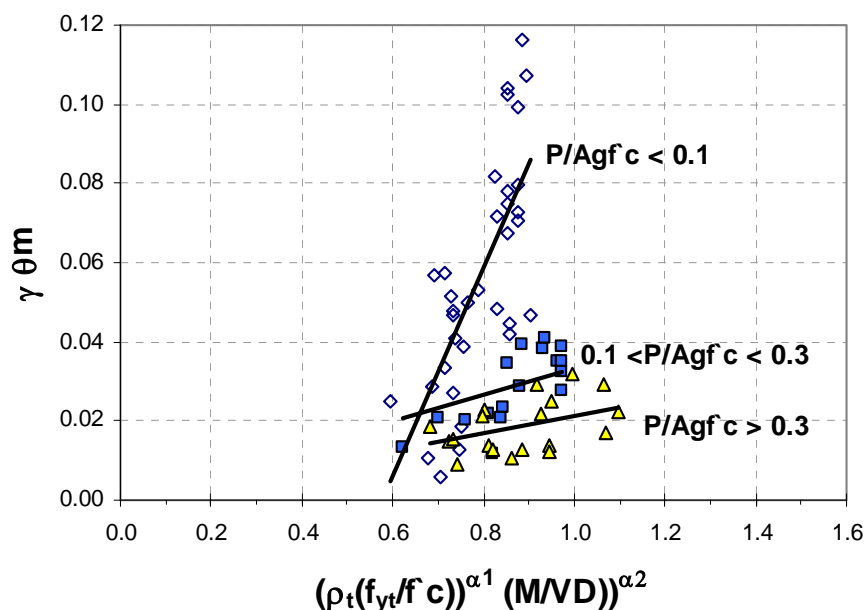


Figura 5 Tendencia de $\gamma \theta_m = \theta_c$ vs expresión propuesta para cada intervalo de relación de carga axial

Los resultados de la Fig. 5 sugieren que es razonable proponer expresiones para θ_c en función de los parámetros propuestos para cada intervalo de relación de carga axial seleccionado. Estas expresiones son:

$$P/A_g f_c \leq 0.1 \quad \theta_c = 0.189 \left[\left(\rho_t \left(\frac{f_{yt}}{f_c} \right) \right)^{\alpha_1} \left(\frac{M}{VD} \right)^{\alpha_2} \right] - 0.095 \quad (10 \text{ a})$$

$$0.1 < P/A_g f_c \leq 0.3 \quad \theta_c = 0.021 \left[\left(\rho_t \left(\frac{f_{yt}}{f_c} \right) \right)^{\alpha_1} \left(\frac{M}{VD} \right)^{\alpha_2} \right] + 0.001 \quad (10 \text{ b})$$

$$P/A_g f_c > 0.3 \quad \theta_c = 0.052 \left[\left(\rho_t \left(\frac{f_{yt}}{f_c} \right) \right)^{\alpha_1} \left(\frac{M}{VD} \right)^{\alpha_2} \right] - 0.019 \quad (10 \text{ c})$$

Los resultados de aplicar la Ec. 10 para la base de datos de este estudio se muestran en el eje de ordenadas de la Fig. 6, el eje de abscisas muestra los valores obtenidos empleando la Ec 7. Considerando las diversas variables que pueden intervenir en la respuesta sísmica de columnas de concreto reforzado, estos

resultados sugieren una aproximación razonable de la expresión propuesta (Ec. 10) para determinar la deformación lateral de colapso de referencia de un elemento de concreto reforzado ante acciones cíclicas.

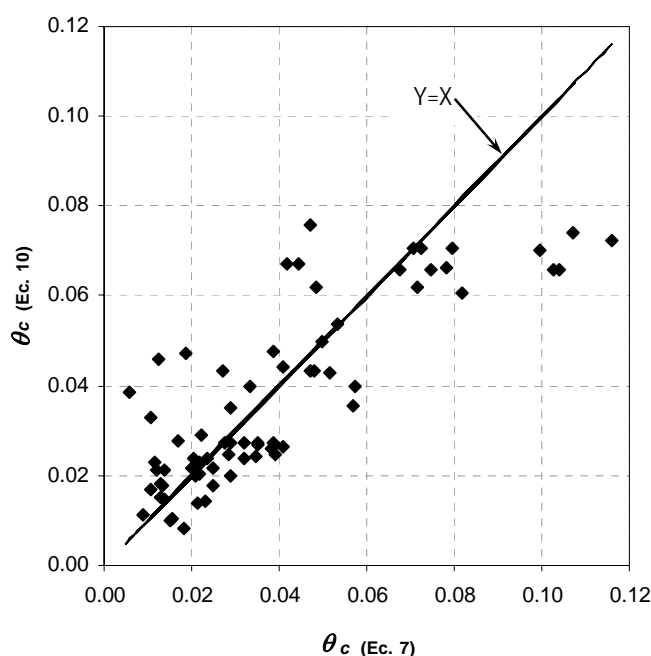


Figura 6 Grafica θ_c (Ec. 10) vs θ_c (Ec. 7)

PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO DE EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE DEFORMACION LATERAL DE COLUMNAS TOMANDO EN CUENTA EL EFECTO DE LA HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS

En procedimientos modernos de diseño sísmico de edificios de concreto reforzado, tal como es el llamado “Diseño sísmico por desempeño”, es necesario conocer la capacidad de deformación lateral de columnas de concreto reforzado para diversos niveles de desempeño esperados. Para el caso de la condición de colapso, los resultados de este estudio permiten conocer la deformación relativa de colapso θ_m tomando en cuenta el efecto de la historia de desplazamientos. Este parámetro se puede calcular a partir de la Ec. 6 mediante:

$$\theta_m = \frac{\theta_c}{\gamma} \quad (11)$$

La Ec. 11 indica que θ_m es función de los parámetros θ_c y γ . En esta evaluación el parámetro θ_c se calcula con la Ec. 10. El parámetro γ se obtiene de manera iterativa empleando la Ec. 3 en análisis de sistemas de 1GDL con registros sísmicos que se consideren representativos de la sismicidad de la zona en estudio. Resultados de la evaluación del parámetro γ^2 para algunos sismos de interés han sido encontrados por Rodríguez (1994).

CONCLUSIONES

1. En este trabajo se analiza el efecto de la historia de desplazamientos en la capacidad de deformación de columnas de concreto reforzado. Se encontró que el parámetro γ toma en cuenta con una aproximación razonable el efecto de la historia de desplazamientos. Este parámetro se puede considerar como una forma adimensional de expresar la energía histerética disipada por la estructura cuando responde a una excitación del tipo sísmica o a cargas laterales aplicadas en laboratorio.
2. Con base en el empleo del parámetro γ , así como en la deformación de colapso de referencia, se propone una expresión para calcular la capacidad de deformación de columnas de concreto reforzado, la cual toma en cuenta no solo parámetros convencionales de diseño de estos elementos estructurales tales como relación de carga axial, relación de claro de cortante y confinamiento, sino también el efecto de la historia de desplazamientos durante la respuesta sísmica.

REFERENCIAS

- ATC-32, (1996), “Improved seismic design criteria for California bridges: Provisional recommendations”, Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Fajfar, P., (1992), “Equivalent ductility factors, taking into account low-cycle fatigue”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 21, pp. 837-848.
- Rodríguez, M., (1994), “A measure of capacity of earthquake ground motions to damage structures”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, N° 23, pp. 627-643.
- Rodríguez, M y Padilla D (2005), “Índice de daño por sismo para edificaciones de concreto reforzado”, por publicar en la Serie Azul del Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Taylor, A. W. y Stone, W., (1993), “A summary of cyclic lateral load tests on spiral reinforced concrete columns”, Building and Fire Research Laboratory, Gaithersburg, MD 20899, NISTIR 5285.
- Taylor, A. W., Kuo, C., Wellenius, K. y Chung, D., (1997), “A summary of cyclic lateral load tests on rectangular reinforced concrete columns”, Building and Fire Research Laboratory, Gaithersburg, MD 20899, NISTIR 5984.