

DESEMPEÑO EXPERIMENTAL DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA REHABILITADAS MEDIANTE EL USO DE MALLA DE ALAMBRE

Jorge Ruiz García¹ y Sergio M. Alcocer Martínez de Castro^{1,2}

RESUMEN

Con base en los resultados experimentales obtenidos en diversos programas de investigación llevados a cabo en Latinoamérica, en este artículo se presentan algunas recomendaciones para la evaluación, diseño y construcción de estructuras con muros de mampostería confinada que han sufrido daño del tipo sísmico y son sometidos a un proceso de rehabilitación mediante el uso de malla de alambre electrosoldada recubierta con mortero de cemento. Este método de rehabilitación, aplicado correctamente, permite aumentar la resistencia ante cargas laterales, incrementar la rigidez remanente, así como la capacidad de deformación y de disipación de energía.

SUMMARY

Based on the main experimental results obtained from several research programs in Latinamerica, some qualitative and quantitative suggestions to evaluate, design and carry out the construction process using welded wire mesh as a retrofit technique of confined masonry walls are presented. This retrofit scheme increases the shear strength, residual stiffness, deformation and energy dissipation capacities on severely damage masonry walls.

Artículo recibido el 2 de diciembre de 1998 y aprobado para su publicación el 28 de enero de 1999. Se aceptarán comentarios y/o discusiones al artículo hasta cinco meses después de su publicación.

¹ *División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM
Circuito Escolar, Cd. Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D. F.*

² *Centro Nacional de Prevención de Desastres
Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Sto. Domingo, México, 04360, México, D. F.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la investigación acerca de las técnicas de reparación y refuerzo de estructuras de mampostería, ha tenido gran aceptación en México y otros países. Ello se debe a la necesidad de *rehabilitar*, en la mayoría de los casos, edificaciones urbanas de carácter histórico y de uso habitacional que han sufrido daño por el efecto destructivo de los sismos. Para fines de este estudio, se define como *rehabilitación* al proceso de recuperación y mejoramiento de las características originales de una estructura o elementos constitutivos, para devolver o incrementar su funcionalidad y seguridad estructural ante eventos sísmicos futuros.

Ante este panorama, en México y otros países latinoamericanos se han desarrollado programas de investigación para evaluar la factibilidad y eficiencia de diversas propuestas de rehabilitación para edificaciones con muros de mampostería confinada. Entre las propuestas de rehabilitación se encuentran el relleno de las grietas principales, el empleo de acero de refuerzo en forma de grapas a lo largo del agrietamiento principal, la inserción y anclaje de alambres de acero en ranuras practicadas a lo largo de las juntas horizontales, así como el uso de malla de alambre anclada a los muros y recubierta con mortero de cemento.

En una revisión de la literatura existente sobre el comportamiento experimental de estas técnicas se exponen las ventajas que ofrece la adición de malla de alambre electrosoldada recubierta con mortero sobre otros esquemas de rehabilitación para muros de mampostería confinada con un grado de daño moderado o severo (Ruiz, 1995). Este método de rehabilitación, aplicado correctamente, permite aumentar la resistencia ante cargas laterales, incrementar la *rigidez remanente*, así como la capacidad de deformación y de disipación de energía.

No obstante la evidencia experimental y el uso que ha tenido en la práctica profesional, en la normatividad vigente no se cuenta con recomendaciones para la elección y correcta aplicación de los métodos descritos en la literatura técnica, ni tampoco criterios para el análisis y diseño de la rehabilitación de estructuras dañadas por sismo. Por ello, el principal objetivo de este artículo consiste en presentar los resultados más importantes obtenidos de diversos programas de investigación, dirigidos a evaluar el comportamiento de muros de mampostería confinada rehabilitados con malla de alambre y, con éstos, sugerir recomendaciones para la evaluación y la estimación de la capacidad ante cargas laterales que proporciona este método, así como aportar recomendaciones del proceso constructivo a seguir.

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL USO DE MALLA DE ALAMBRE COMO TÉCNICA DE REHABILITACIÓN

El uso de malla de alambre recubierta con mortero de cemento como técnica de rehabilitación, ya sea como reparación o refuerzo, ha sido evaluada experimentalmente en muros construidos con ladrillos cerámicos industrializados con perforaciones (tipo rejilla) y

piezas macizas hechas a mano (tipo artesanal), así como con bloques de concreto. Tanto en México como en otros países latinoamericanos como Chile y Argentina, las pruebas se efectuaron en muros aislados a escala natural, sometidos ante carga estática o cíclica alternada (Hernández, 1981; Delfin *et al*, 1991; Delfin *et al*, 1992; Maldonado y Olivencia, 1992). En México se llevó a cabo el ensaye ante cargas cíclicas alternadas de un modelo tridimensional de mampostería confinada de dos niveles a escala natural, reparado y reforzado utilizando esta técnica (Ruiz *et al*, 1994; Ruiz, 1995).

Con el fin de estudiar y evaluar los factores que influyen en el comportamiento de los muros rehabilitados se han utilizado como variables: el tipo de refuerzo, el tipo y método de aplicación del recubrimiento, el grado de daño, la cuantía del refuerzo horizontal de la malla y la densidad de anclajes para sujetar la malla al muro de mampostería. En la Tablas 1, 2 y 3 se presenta un resumen de los programas experimentales, así como de las características del refuerzo, el recubrimiento empleado y el grado de recuperación alcanzado para muros construidos con piezas macizas del tipo artesanal, así como con piezas del tipo extruido y con bloques de concreto, respectivamente. Los resultados más relevantes de estos estudios se comentan a continuación:

Tabla 1. Resultados obtenidos en muros de mampostería confinada construidos con piezas macizas tipo artesanal

Referencia	Espécimen	Grado de Daño	Tipo de Recubrimiento (Aplicación)	Tipo de refuerzo	ρ_h (s) (%)	V_R/V_O	R_R/R_O
Hernández (1981)	M-1	Severo	MC (manual)	malla de alambre electrosoldada	0.08 (25)	2.28	---
	M-2	Severo	MC (manual)		0.16 (25)	2.24	---
Delfin <i>et al</i> (1991)	M-O	Sin daño	MC (lanzado)	malla de alambre electrosoldada $\phi = 4.2$ mm	0.30 (10)	---	---
	M-1	Moderado	MC (manual)		0.30 (10)	1.89	---
	M-2	Moderado	MC (lanzado)		0.30 (10)	1.69	---
	M-3	Severo	MC (lanzado)		0.30 (10)	1.35	---
	M-4	Severo	MC (lanzado por dos caras)		0.60 (10)	2.07	---
Ruiz (1995)	3DR	Severo	MC (manual)	malla de alambre electrosoldada (6x6/10-10)	0.14 (25)	1.64	2.5

Notación:

R Distorsión = Desplazamiento lateral/Altura del espécimen

V_R Resistencia ante cargas laterales del espécimen rehabilitado

V_O Resistencia ante cargas laterales del espécimen original

R_R Distorsión correspondiente a la resistencia del espécimen rehabilitado

R_O Distorsión correspondiente a la resistencia del espécimen original

MC Mortero de cemento

ϕ Diámetro

ρ_h Cuantía del refuerzo (separación en cm)

Tabla 2. Resultados obtenidos en muros de mampostería confinada construidos con piezas del tipo extruido

Referencia	Espécimen	Grado de Daño	Tipo de Recubrimiento (Aplicación)	Tipo de Malla	ρ_h (s) (%)	V_R/V_O	R_R/R_O
Hernández (1981)	M-1	Severo	Yeso común	Gallinero	0.08	0.92	0.99
	M-2	Severo	Yeso y cemento	Trenzada	0.10	0.79	1.90
	M-3	Severo	Yeso y cemento	Gallinero	0.08	0.82	2.03
Delfin <i>Té al</i> (1991)	M-O	Sin daño	MC (lanzado)	malla de alambre electrosoldada $\phi = 4.2$ mm	0.30 (10)	---	---
	M-1	Moderado	MC (manual)		0.30 (10)	0.96	---
	M-2	Severo	MC (manual)		0.30 (10)	1.18	---
	M-3	Moderado	MC (lanzado)		0.30 (10)	1.16	---
	M-4	Severo	MC (lanzado)		0.30 (10)	1.48	---
	M-5	Severo	MC (lanzado por dos caras)		0.60 (10)	1.96	---

Notación:

R	Distorsión = Desplazamiento lateral/Altura del espécimen	MC	Mortero de cemento
V_R	Resistencia ante cargas laterales del espécimen rehabilitado	ϕ	Diámetro
V_O	Resistencia ante cargas laterales del espécimen original	ρ_h	Cuántia del refuerzo (separación en cm)
R_R	Distorsión correspondiente a la resistencia del espécimen rehabilitado		
R_O	Distorsión correspondiente a la resistencia del espécimen original		

Tabla 3. Resultados obtenidos en muros de mampostería confinada construidos con bloques de concreto

Referencia	Espécimen	Grado de Daño	Tipo de Recubrimiento (Aplicación)	Tipo de Malla	ρ_h (s) (%)	V_R/V_O	R_R/R_O
Delfin <i>et al</i> (1992)	M-O	Sin daño	lanzado-1 cara	malla de alambre $\phi = 4.2$ mm	0.4 (20)	0.97	---
	M-1	Severo	lanzado-1 cara		0.8 (10)	1.27	---
	M-2a	Severo	lanzado-1 cara		0.4 (20)	0.97	---
	M-2b	Severo	lanzado-2 caras		0.8 (20)	1.37	---
	M-2c	Severo	lanzado-2 caras		0.8 (20)	1.61	---
	M-2d	Severo	lanzado-2 caras		0.8 (20)	1.81	---
	M-2d	Severo	lanzado-2 caras		0.8 (20)	1.43	---
	M-2d	Severo	lanzado-2 caras		1.6 (10)	1.44	---

Notación:

R	Distorsión = Desplazamiento lateral/Altura del espécimen	MC	Mortero de cemento
V_R	Resistencia ante cargas laterales del espécimen rehabilitado	ϕ	Diámetro
V_O	Resistencia ante cargas laterales del espécimen original	ρ_h (s)	Cuántia de refuerzo (separación en cm)
R_R	Distorsión correspondiente a la resistencia del espécimen rehabilitado		
R_O	Distorsión correspondiente a la resistencia del espécimen original		

Hernández (1981). La calidad del recubrimiento y el tipo de refuerzo fueron las variables consideradas en una serie de cinco muros construidos con dos tipos de piezas. En los muros construidos con tabique extruido se observó que el recubrimiento se despegó de la mampostería a distorsiones del orden de 0.40 %, provocando que la malla se desligara sobre la diagonal a compresión y, por consiguiente, no se alcanzara la resistencia del espécimen original. En el primer y segundo muros reparados se restituyó la rigidez original, mientras que en el tercero no se alcanzó, dado que el aplanado original (de yeso) era de mayor resistencia que el empleado en la reparación (yeso y cemento) para cubrir la malla. En

promedio, los muros reparados aumentaron en 64 % su capacidad de deformación. Dos muros construidos con tabique tipo artesanal fueron reforzados con malla de alambre electrosoldado y ensayados ante cargas laterales cíclicas reversibles. En promedio, la resistencia de los muros reparados fue superior en 2.26 veces respecto a los muros originales.

Delfín, Astroza, Águila, Sepúlveda (1991). El nivel de daño del muro por reparar y el método de aplicación del recubrimiento (manual o neumático) fueron las variables estudiadas por Delfín y colaboradores (1991) mediante el ensaye de once especímenes a escala natural construidos con ladrillos de arcilla perforados hechos a máquina (tipo rejilla) y ladrillos sólidos hechos a mano (tipo artesanal). Los muros ensayados exhibían una relación H/L igual a 1 (donde H es la altura y L es la longitud). Se utilizó mortero de cemento como recubrimiento, con espesor de 4 a 5 cm, en cada lado del muro. Al comparar dos muros construidos con ladrillo macizo del tipo artesanal y reparados con el mismo grado de daño (moderado), se puede observar que la resistencia en el muro rehabilitado aumentó en 89 %, cuando se aplicó mortero en forma manual, y en 69 % cuando se aplicó mortero lanzado, respecto a los muros originales. El mortero aplicado en forma neumática aumentó la resistencia en un muro construido con ladrillo del tipo cerámico hecho a máquina respecto a otro con el recubrimiento aplicado en forma manual (con igual grado de daño), en 16 %. En los muros construidos con ladrillo macizo, la resistencia del muro rehabilitado con malla por ambos lados fue de 2.1 veces la del muro original, mientras un muro rehabilitado con malla por un lado aumentó la resistencia en 1.35 veces.

Delfín, Astroza, Águila, Cortés (1992). La misma técnica de rehabilitación se aplicó en cuatro muros con relación de aspecto H/L igual 1 construidos con bloques de concreto, siendo la variable en estudio la cuantía y la disposición del refuerzo (por una o ambas caras). Los muros originales se ensayaron hasta un nivel de distorsión de 0.75 %, exhibiendo un grado de daño severo. El mortero de cemento se colocó en forma neumática vía seca con un espesor de 3 a 4 cm. Los resultados de los ensayos indican que la rigidez lateral inicial de los muros rehabilitados por una cara fue menor que la original, siendo sólo del orden de 55 a 90 %, mientras que en muros rehabilitados por ambas caras sí alcanzó a restituirse. Las cargas al primer agrietamiento diagonal (a 0.25 % a 0.38 % de distorsión) en los muros rehabilitados por una o ambas caras excedieron la de los muros originales en 20 y 40 %, respectivamente.

Ruiz García (1995). Como parte de un extenso programa de investigación sobre la seguridad estructural de la vivienda económica en México, se llevó a cabo el ensaye destructivo de una estructura tridimensional de dos niveles a escala natural, construida de mampostería confinada con piezas macizas de barro recocido (modelo 3D). En la Fig. 1a se muestra la geometría del espécimen. El modelo original exhibió un grado de daño que puede considerarse como severo para este tipo de estructuras. Posteriormente, fue rehabilitado empleando malla de alambre electrosoldada recubierta con mortero de cemento (modelo 3DR) y re-ensayado hasta la falla.

Los resultados experimentales presentados anteriormente han mostrado un aumento en la capacidad ante cargas laterales en los muros de mampostería confinada rehabilitados con

mallado de alambre, dependiendo de la cuantía y densidad del refuerzo empleado. Sin embargo, la resistencia adicional dada por la mallado no ha sido evaluada adecuadamente, tanto en los ensayos de laboratorio como en reparaciones de estructuras reales, por lo que la estructura puede presentar un comportamiento diferente a la concepción original e inducir modos de falla no previstos. Idealmente se puede proponer que la evaluación de la capacidad última ante cargas laterales, V_u , de un muro rehabilitado de mampostería confinada consista en cuantificar la participación de la mampostería, V_m , de los elementos confinantes, V_{cc} , de la mallado de alambre, V_{sm} , y del recubrimiento del mortero, V_{cm} , de acuerdo al siguiente criterio

$$V_u = V_m + V_{cc} + V_{sm} + V_{cm} \quad (1)$$

En este estudio, la resistencia a cortante lateral consideró la contribución de la mallado de alambre, V_{sm} , y la *capacidad remanente ante cargas laterales* del modelo original, V_{rm} . No se consideró la contribución del recubrimiento del mortero, V_{cm} , ya que es difícil estimar su resistencia a tensión diagonal. Se supuso, además, que para un estado de daño moderado y severo del espécimen rehabilitado el mortero se encontraría agrietado en forma inclinada, de modo que su contribución a la resistencia sería baja.

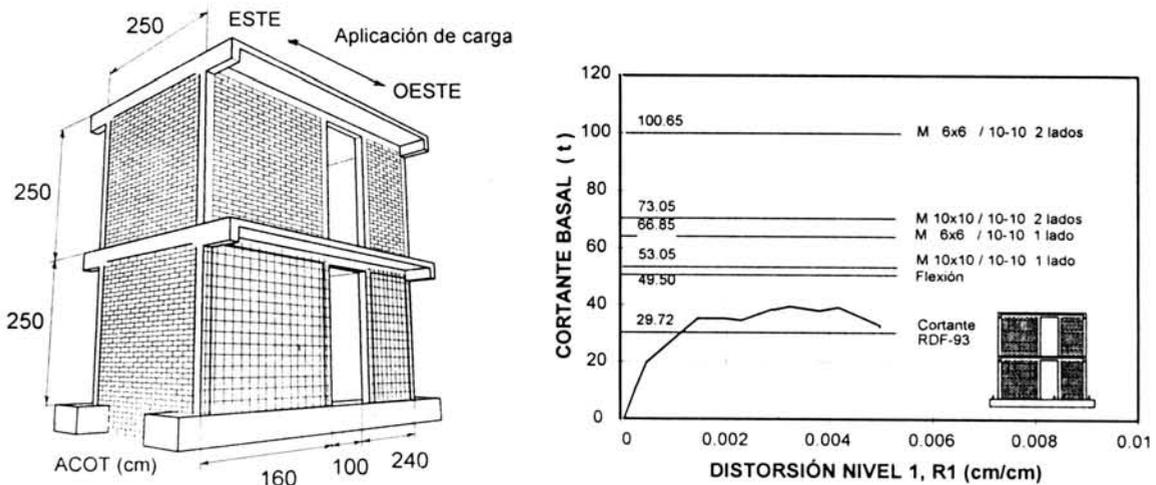


Fig 1. a) Geometría del modelo 3DR, b) Resistencias de diseño esperadas

Para fines de esta investigación, se estimó la *capacidad remanente ante cargas laterales* del modelo 3D a partir de su respuesta histerética global (curva cortante basal contra distorsión total), siendo el cortante basal asociado al último ciclo de carga del ensayo destructivo, es decir, al estado final de daño del modelo 3D. Así, la capacidad remanente, V_{rm} , fue igual a 33.1 t, es decir es decir, 82 % del cortante basal máximo alcanzado por el modelo original. Debe notarse que esta *capacidad remanente* considera diversos mecanismos resistentes que contribuyen como la acción de dovela del refuerzo longitudinal de los

castillos, la contribución de los estribos, la resistencia a tensión de la mampostería y la trabazón entre las grietas. Usualmente, para fines de diseño en muros de mampostería reforzada se supone que las deformaciones en los alambres horizontales son constantes en toda la altura y proporcionales al esfuerzo nominal de fluencia. De esta manera, la resistencia a cortante de los alambres horizontales de la malla es directamente proporcional a la cuantía del refuerzo horizontal, p_h , al esfuerzo nominal de fluencia de los alambres de la malla, f_y , y al área bruta de la sección transversal del muro, A_T , de acuerdo a la siguiente expresión

$$V_{sm} = p_h f_y A_T \eta_h \quad (2)$$

Siendo

$$p_h = \frac{a_{sh}}{ts_h}$$

donde t es el espesor del muro de mampostería y s_h es la separación horizontal del refuerzo interior. Sin embargo, aceptando la no uniformidad en la distribución de los alambres horizontales en la altura del muro, es necesario incluir en la ecuación (2) un factor de eficiencia η_h . Para calcular la cuantía de refuerzo en secciones compuestas, como en la rehabilitación de muros de mampostería confinada con malla de alambre y recubrimiento de mortero, el área bruta de la sección transversal sólo debe considerar el espesor del mortero, t_m , en que quedan embebidos los alambres de la malla.

Así, el nivel de recuperación que se deseaba alcanzar era la restitución y aumento en la capacidad ante cargas laterales alcanzado por el modelo original, permitiendo estudiar el modo de falla y los mecanismos resistentes a cortante, principalmente de la malla de alambre, cuando está sujeta a grandes desplazamientos laterales. De esta manera, se evaluó la resistencia que proporcionaban dos tipos de malla de uso común en la construcción mexicana, dispuestas por una o ambas caras, para ser comparada con la resistencia asociada a un mecanismo plástico de falla por flexión considerando una distribución triangular de fuerzas invertida (ver Ruiz *et al*, 1994) y la del modelo original (Fig. 1b). De esta manera, sólo se requirió colocar malla de alambre, de cualquier tipo, por una cara para obtener el nivel de recuperación estructural deseado.

Antes de la colocación de la malla, se puso especial cuidado en la restauración de los castillos y en la preparación de la superficie de los muros de mampostería. En las caras exteriores de los paneles de mampostería del primer nivel se colocó malla de alambre electrosoldada (con denominación comercial 6X6/10-10). Cada cara consistía de dos paneles con relación de aspecto H/L igual a 1 y 1.5, respectivamente. La malla de alambre se ancló al muro de mampostería con clavos para madera de 5 cm de longitud y corcholatas comunes. Los clavos se introdujeron en la mampostería alrededor de 4 cm y fueron doblados por la "cabeza" para fijar la malla. De esta manera, la variable en estudio fue el número de anclajes por unidad de área (6 anclajes/m² en la cara Sur y 9 anclajes/m² en la

cara Norte). El recubrimiento consistió en una mezcla de cemento-arena (con proporción 1:3 en volumen) de 2.5 cm de espesor. La malla de alambre y el recubrimiento de mortero solo se colocó en los muros paralelos a la dirección de aplicación de carga del primer nivel. No se realizó ningún proceso de reparación en los muros longitudinales del segundo nivel, muros cabeceros, dadas o losas. Ambas estructuras fueron ensayadas ante cargas laterales cíclicas alternadas. Los detalles del diseño y construcción del proceso de rehabilitación así como de la instrumentación, historia de carga y secuencia del ensaye destructivo del modelo rehabilitado pueden encontrarse en Ruiz (1995). En la Fig. 2 se presenta la disposición de la instrumentación y el dispositivo de carga del modelo 3DR antes del ensaye destructivo.

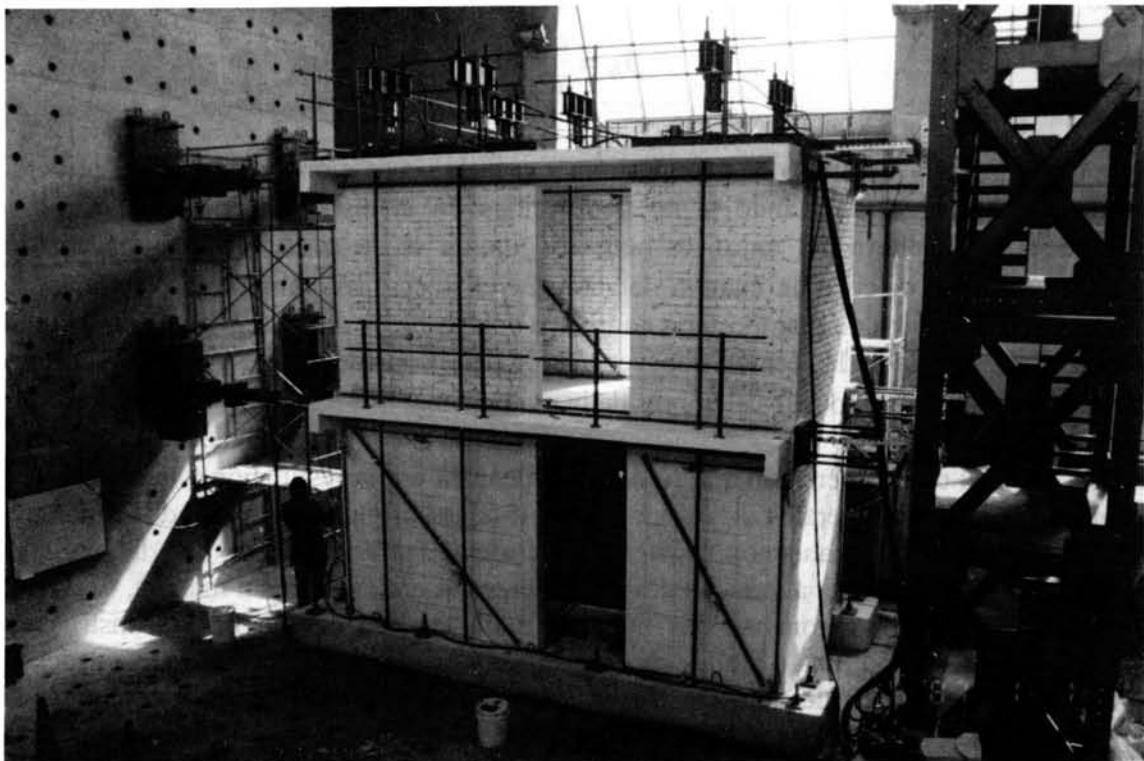


Fig 2. Vista general de la estructura una vez rehabilitada (modelo 3DR)

Al final del ensaye destructivo pudo apreciarse que la rehabilitación permitió distribuir el agrietamiento del primer nivel de manera uniforme, contrario al típico patrón de grietas inclinadas concentradas sobre la diagonal de los paneles de mampostería observado en el modelo original. No obstante, el modo de falla del 3DR fue controlado por las deformaciones por corte. En las Figs. 3a y 3b se muestra el patrón final de agrietamiento y la respuesta histerética del primer y segundo nivel medido para los modelos 3D y 3DR.

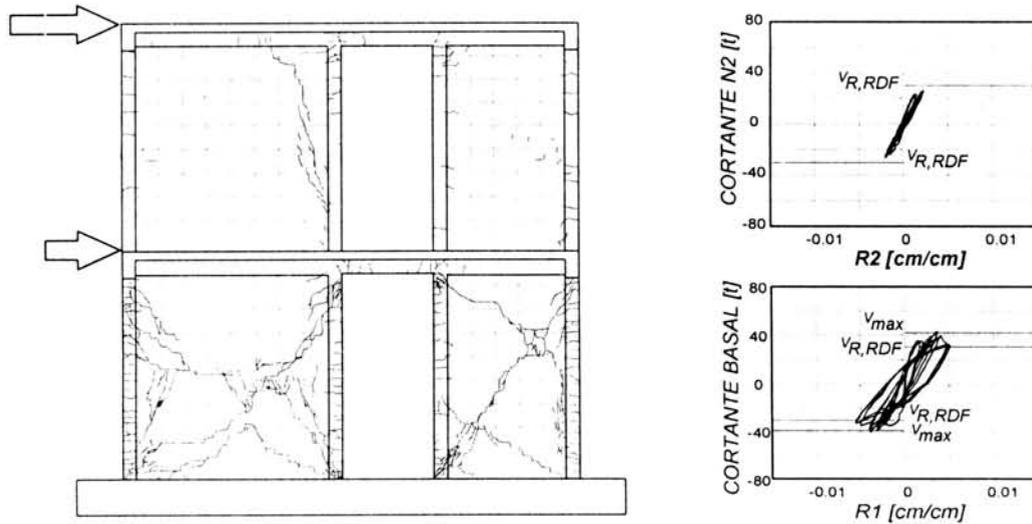


Fig 3a. Patrón final de agrietamiento y respuesta histerética del modelo 3D

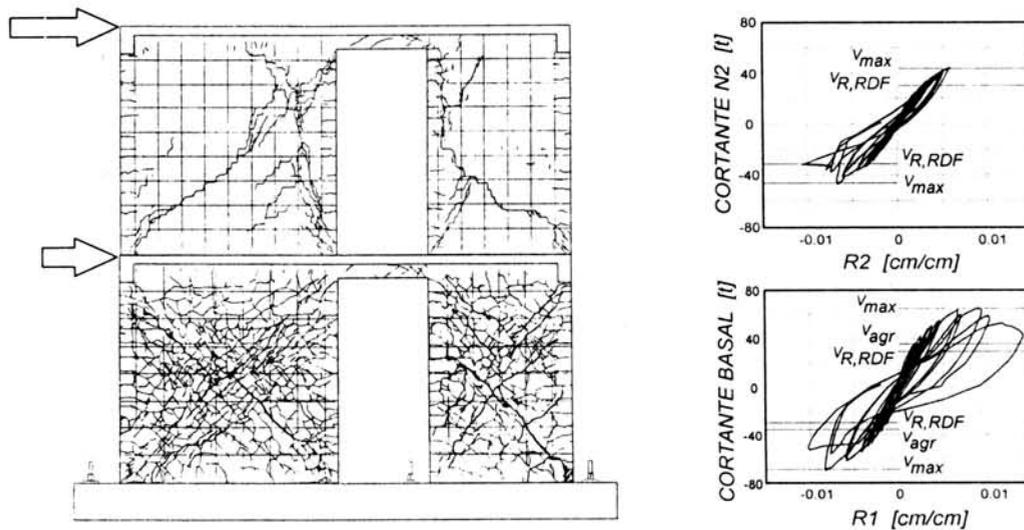


Fig 3b. Patrón final de agrietamiento y respuesta histerética del modelo 3DR

A continuación se describen los resultados más importantes de este estudio:

Comportamiento histerético. El comportamiento global del modelo 3DR se estudió a partir de la curva cortante basal-distorsión del primer nivel (Fig. 3b). La curva guarda simetría para ambas direcciones de carga, distinguiéndose una etapa elástica durante los dos primeros ciclos de carga. Los lazos histeréticos no muestran estrangulamiento cerca del origen, aún para ciclos a distorsiones elevadas. El comportamiento histerético es estable y

con buena capacidad de disipación de energía en gran parte de la prueba. La estabilidad puede observarse si se comparan ciclos a la misma distorsión ($R1 = 0.46 \%$). En los ciclos posteriores se observó mayor disipación de energía manteniéndose la estabilidad en la respuesta. Esta última etapa se caracterizó por el aplastamiento y separación del recubrimiento de mortero, rotura de los alambres de la malla, agrietamiento diagonal en el interior y exterior de los muros del primer nivel así como grietas en el segundo nivel de forma escalonada.

El segundo nivel muestra una pequeña etapa inicial elástica continuando con lazos simétricos y estables hasta una distorsión de entrepiso de 0.39% .

Capacidad ante cargas laterales. El uso de la malla de alambre recubierta con mortero de cemento permitió recuperar e incrementar la capacidad ante cargas laterales del espécimen original. La resistencia del 3DR fue 1.64 veces, en promedio, a la medida en el 3D, permitiendo grandes desplazamientos antes de ocurrir el deterioro en su capacidad ante cargas laterales. Es interesante notar que para el nivel de distorsión del primer nivel, $R1$, asociado a la resistencia del 3D (0.36%), la capacidad ante cargas laterales del 3DR ($R1 = 0.94 \%$) la excedía en 1.12 veces. En la Fig. 4a se presenta la envolvente de la respuesta para los modelos 3D y 3DR. Tanto en el espécimen original (3D) como en el rehabilitado (3DR), la resistencia ante cargas laterales calculada con la normatividad vigente (DDF, 1993), y considerando un factor de reducción de resistencia unitario, fue superada por la obtenida en los ensayos de laboratorio en 1.36 y 2.32 veces, respectivamente. De acuerdo a la evidencia experimental, se ha observado que la expresión propuesta por la normatividad vigente para estimar la capacidad ante cargas laterales de muros de mampostería confinada considerando un factor de reducción de resistencia unitario coincide, aproximadamente, con la carga de agrietamiento, V_{agr} , medida en los especímenes ensayados (Sánchez, 1998). Finalmente, la resistencia del modelo rehabilitado alcanzó el 95% de la resistencia ante cargas laterales, V_u , calculada con el criterio empleado en este estudio.

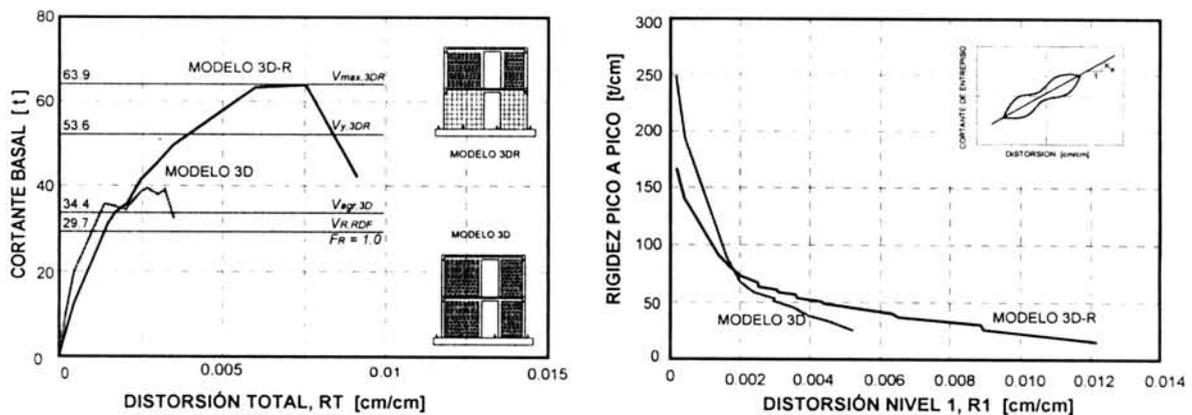


Fig 4. a) Envolvente de la respuesta de los modelos 3D y 3DR
b) Degradación de rigidez de los modelos 3D y 3DR

Degradación de rigidez. La técnica de rehabilitación empleada permitió recuperar 2/3 de la rigidez inicial y 6.7 veces la *rigidez remanente* del modelo original. En este estudio se consideró como *rigidez remanente* a la obtenida para el último ciclo de carga del 3D, la cual correspondió aproximadamente al 10 % de la rigidez inicial. En la Fig. 4b se presenta la degradación de rigidez para ambos modelos. A pesar de que la tasa de deterioro de la rigidez lateral decreció con una tendencia exponencial en ambos especímenes, la cantidad y el tipo de refuerzo retrasaron la formación de un *piso suave* en el modelo rehabilitado, inclusive hasta un nivel de distorsión de entrepiso considerado como excesivo para estructuras de mampostería confinada ($R1 = 0.35\%$). En la Fig. 5a se presenta la relación de rigideces para el primer y segundo nivel de ambos modelos.

Capacidad de desplazamiento y disipación de energía. La participación de los alambres horizontales permitió al modelo 3DR incrementar la capacidad de desplazamiento (i.e., el 3DR alcanzó su resistencia a una distorsión del primer nivel, R , de 0.94 %, mientras que en el 3D ocurrió a una distorsión de 0.36 %). En este estudio, *la energía disipada* durante la prueba destructiva se calculó como el área dentro de los lazos de histéresis en las curvas carga-desplazamiento. En el primer nivel, el espécimen rehabilitado disipó la misma cantidad de energía acumulada (i.e., la suma de la energía disipada en ciclos anteriores) final del espécimen original (para $R1 = 0.50\%$) hasta una distorsión de entrepiso de 0.94 %, alcanzando a disipar dos veces la cantidad de energía de la estructura original (ver Fig. 5b).

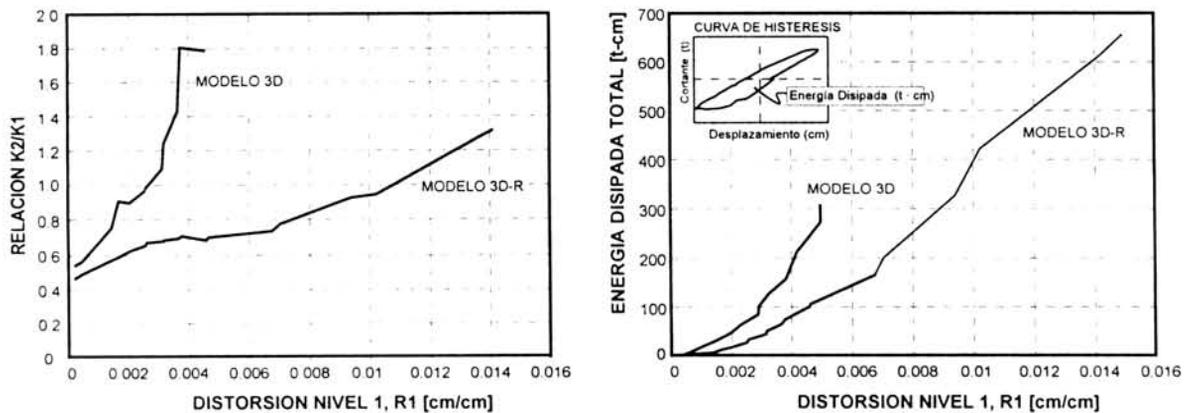


Fig 5. a) Relación de regideces del primero y segundo niveles de los modelos 3D y 3DR
b) Disipación de energía de los modelos 3D y 3DR

Eficiencia del refuerzo horizontal y el tipo de anclaje. En la Fig. 6 se muestra la distribución de deformaciones medida en los alambres horizontales a lo alto del muro durante el ensayo destructivo del 3DR para diferentes niveles de distorsión. Como puede observarse en la gráfica, las deformaciones en los alambres horizontales que cruzan la grieta diagonal en la superficie de la mampostería no alcanzaron la fluencia en forma uniforme. Por ello, a partir del análisis de los deformómetros colocados en la malla de alambre se

estimó la eficiencia en los alambres horizontales. El *factor de eficiencia horizontal* η_h , se estimó como el promedio del cociente entre la fuerza medida en los alambres horizontales que cruzan la grieta diagonal y la fuerza cortante de fluencia del refuerzo horizontal. Este factor refleja la no uniformidad de la distribución de deformaciones del refuerzo en la altura del muro. La eficiencia de los alambres horizontales, en su contribución a la resistencia, varió con el nivel de distorsión, la densidad de anclajes y la relación de aspecto de los paneles (ver Fig. 6). En los paneles con relación de aspecto igual a 1 se midió una mayor eficiencia (hasta 72 %) que en los paneles relación de aspecto igual a 1.5 (hasta 67 %), ambos situados en el lado con mayor densidad de anclajes (9 clavos/m²), para el nivel de distorsión correspondiente a la resistencia del 3DR ($R1 = 0.94 \%$). El refuerzo alcanzó su máxima eficiencia promedio en todos los paneles (64 %) para una distorsión del primer nivel entre 0.67 % y 0.75 %. El deterioro de resistencia del modelo coincidió con una disminución en la eficiencia del refuerzo horizontal, asociado a la falla de los anclajes utilizados y a la fractura o desprendimiento de algunos alambres horizontales.

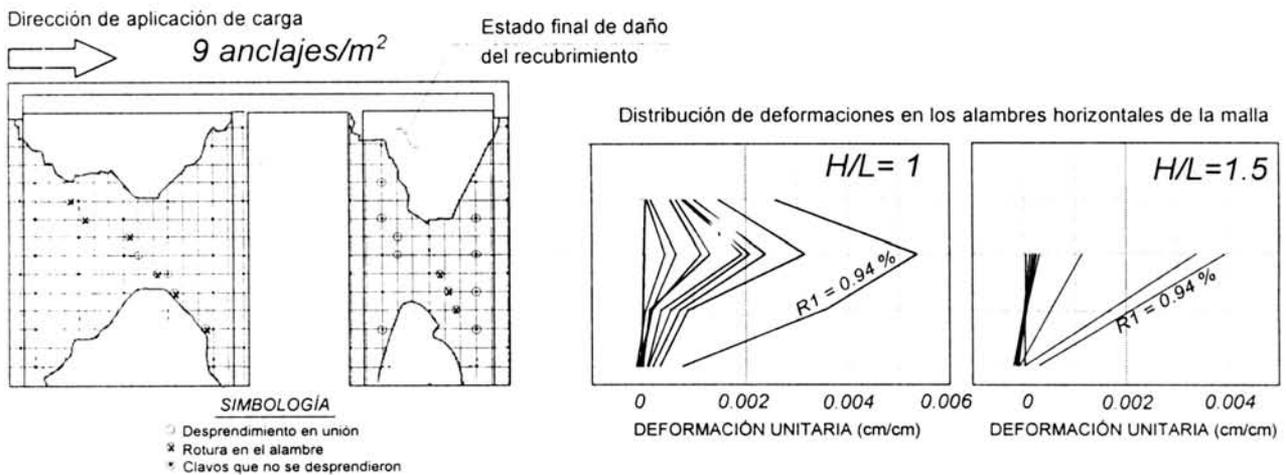


Fig 6. Patrón final del recubrimiento de mortero en el lado norte y distribución de deformaciones en los alambres horizontales de la malla

En general, el uso de corcholata y clavo a manera de anclaje resultó adecuado. Sin embargo, su eficiencia disminuyó al iniciarse el desconchamiento del recubrimiento de mortero a una distorsión de entrepiso de 0.46 %, aproximadamente, atribuido a la poca adherencia entre el clavo y la mampostería.

Al comparar la degradación de rigidez y la eficiencia η_h con el nivel de distorsión del primer nivel se pudo apreciar que los alambres horizontales no tuvieron influencia en la rigidez inicial del 3DR. De esta manera, el aumento en la rigidez residual del modelo original (igual a 6.7 veces) puede atribuirse al recubrimiento de mortero, a la restitución del concreto fracturado en los extremos de los castillos interiores y al “rajuelo” de las grietas dañadas en los paneles de mampostería. Sin embargo, se observó que la participación de los

alambres horizontales colaboró a tener una tasa de deterioro gradual de la rigidez inicial en el 3DR.

Respecto al recubrimiento de mortero, puede decirse que el desprendimiento se concentró sobre las diagonales y los extremos de los paneles (ver Fig. 6). Se pudo observar agrietamiento, por tensión diagonal, con tendencia a concentrarse sobre las diagonales de los paneles hasta un nivel de distorsión de entrepiso de 0.46 %. A partir de este nivel de distorsión, a lo largo de las fisuras inclinadas se observó el aplastamiento del mortero, principalmente en la zona central de los paneles.

Tabla 4.1 Frecuencias naturales de vibración identificadas a partir de pruebas de vibración ambiental

DIRECCIÓN	1er. modo <i>f en Hertz (T en seg)</i>				2o. modo <i>f en Hertz (T en seg)</i>			
	3D	3DD	3DR	3DRD	3D	3DD	3DR	3DRD
Longitudinal	15.4 (0.065)	9.7 (0.103)	13.5 (0.074)	7.0 (0.140)	52.0 (0.019)	31.0 (0.032)	33.5 (0.029)	21.7 (0.046)
Transversal	12.9 (0.077)	10.1 (0.099)	12.5 (0.080)	7.8 (0.128)	36.3 (0.027)	34.3 (0.030)	33.9 (0.029)	26.9 (0.037)
Torsión	24.7 (0.040)	17.7 (0.057)	22.1 (0.045)	11.3 (0.089)	33.5 (0.029)	47.5 (0.021)	58.9 (0.017)	34.9 (0.029)

Notación:

- 3D Modelo original antes del ensaye
- 3DD Modelo original después del ensaye
- 3DR Modelo rehabilitado antes del ensaye
- 3DRD Modelo rehabilitado después del ensaye

Tabla 4.2 Amortiguamientos críticos identificados a partir de las pruebas de vibración ambiental

DIRECCIÓN	3D	3DD	3DR	3DRD
Longitudinal	0.010	0.011	0.018	0.046
Transversal	0.017	0.025	0.047	0.06

Notación:

- 3D Modelo original antes del ensaye
- 3DD Modelo original después del ensaye
- 3DR Modelo rehabilitado antes del ensaye
- 3DRD Modelo rehabilitado después del ensaye

Propiedades dinámicas. Con la intención de obtener la evolución de las características dinámicas del modelo tridimensional (frecuencias del primer y segundo modo de vibración,

así como amortiguamiento) se efectuaron pruebas de vibración ambiental durante cuatro etapas del proyecto experimental. En la Tabla 4.1 se muestran las frecuencias naturales de vibración y los porcentajes de amortiguamiento crítico h_c obtenidas. Al comparar las frecuencias del primer modo durante las etapas 3D y 3DR se observa que el modelo rehabilitado no alcanzó a recuperar la rigidez inicial del modelo sin daño previo, dado que solo alcanzó el 87 %. Lo anterior es consistente con la degradación de rigidez medida empleando el concepto de rigidez de ciclo, dado que la rigidez inicial del modelo 3DR sólo alcanzó el 67 % de la rigidez inicial original. Como puede observarse en la Tabla 4.2, los amortiguamientos viscosos obtenidos fueron menores a los valores usualmente empleados para fines de análisis (5 %).

CONSIDERACIONES PARA LA REHABILITACIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA

Como se destacó en la sección anterior, el uso de malla de alambre y recubrimiento de mortero como técnica de rehabilitación para estructuras de mampostería confinada ha presentado un excelente comportamiento estructural. Basado en la evidencia experimental más reciente, en esta sección se presentan algunas recomendaciones cualitativas y cuantitativas para la evaluación, diseño y construcción de estructuras de mampostería confinada rehabilitadas con el método antes descrito, en un intento por aportar criterios objetivos y sencillos en el área de rehabilitación de estructuras.

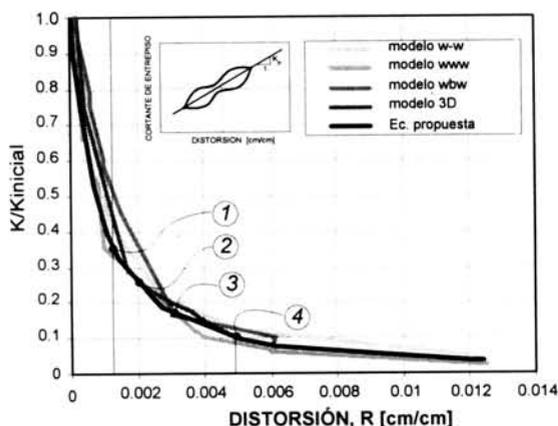
Evaluación

Cualquier estructura dañada por un sismo, o bien aquella estructura existente que requiere cumplir con requisitos normativos más exigentes, debe seguir un proceso de rehabilitación estructural. Normalmente, dicho proceso debe incluir tres etapas básicas: a) inspección visual y levantamiento de daños, en caso de haber ocurrido un evento sísmico; 2) clasificación y evaluación preliminar de daños y; 3) Elección del método de reparación y/o refuerzo adecuado. En las edificaciones con muros de mampostería, en la primera etapa se debe prestar especial atención a identificar si se trata de muros de mampostería confinada o reforzada, si existen asentamientos cerca de la construcción, deterioro de las piezas por la humedad o el intemperismo, así como evaluar la cantidad y distribución de muros en las dos direcciones, la cantidad y disposición de aberturas (puertas, ventanas, etc.), el espesor e inclinación de las grietas en la superficie de la mampostería y en las dalas o castillos (principalmente en la zona central de los muros o en la más afectada), la extensión de las grietas inclinadas hasta los castillos, la cantidad de refuerzo longitudinal y la separación de los estribos en los castillos (en lo posible, revisar si existió plegamiento de las varillas), el aplastamiento del concreto en el recubrimiento o parte del núcleo, la cantidad y el porcentaje respecto al total de los elementos no-estructurales afectados (muros divisorios, elementos de fachada, recubrimientos, plafones, etc.).

Para cumplir con la segunda etapa, en la mayoría de los casos se utilizan metodologías basadas en la estimación de la capacidad ante cargas laterales. Sin embargo, existen dos aspectos que han recibido poca atención: la estimación de las propiedades mecánicas de la

mampostería *in situ* (como el módulo de elasticidad y el módulo de cortante) y la degradación de rigidez para estructuras de mampostería confinada. La evidencia experimental en muros aislados y en sistemas acoplados tridimensionales a escala natural de mampostería confinada sometidos a cargas laterales cíclicas reversibles ha mostrado que la rigidez inicial disminuye a una tasa de deterioro de forma exponencial en función del nivel de desplazamiento lateral (Sánchez, 1998).

En la Fig. 7 se muestra la degradación de rigidez en función de la distorsión obtenida para diversos especímenes de mampostería confinada. Como puede observarse, el valor inicial de la rigidez se ha deteriorado aproximadamente en 65 % para un nivel de distorsión correspondiente al inicio del fisuramiento inclinado en la superficie de los paneles de mampostería ($R = 0.13$ % en promedio).



ESTADO DE DAÑO

- ① Inicio del agrietamiento en mampostería
- ② Inicio de penetración de grietas en castillos
- ③ Inicio del aplastamiento del concreto en castillos
- ④ Plegamiento del refuerzo en castillos

Fig 7. Degradación de rigidez en muros de mampostería confinada (Sánchez, 1998)

Con el fin de proporcionar información para desarrollar un método simplificado para fines de evaluación, en la Tabla 5 se relaciona el desempeño observado (estado de daño) en especímenes de mampostería confinada sometidos a cargas laterales cíclicas reversibles del tipo sísmico (i.e., las que ocurren durante un evento sísmico) con el nivel de distorsión, el nivel de deterioro de sus propiedades estructurales (rigidez y resistencia) y su clasificación aproximada de acuerdo a una tabla de evaluación propuesta en la literatura (Rodríguez y Castrillón, 1995). Adicionalmente a la anchura de las grietas en la superficie de los paneles de mampostería, y dada la importancia de los castillos (Alcocer, 1997), se sugiere incluir en la descripción del grado de daño de las tablas de evaluación para muros de mampostería confinada la siguiente descripción referente a la condición de los castillos: a) Ligero. *Sin daño aparente, ligeras fisuras horizontales en los extremos de los castillos*; b) Fuerte. *Con daño incipiente, indicios de la incursión de las grietas inclinadas en los extremos de los castillos*; c) Grave. *Con daño severo, grietas inclinadas que incursionan en los extremos de los castillos*.

Tabla 5. Grado de daño y deterioro de las propiedades estructurales en muros de mampostería confinada ensayados ante cargas laterales cíclicas reversibles del tipo sísmico

Estado de Daño Observado	Distorsión (%)	R / R _{inicial}	V / V _{max}	Grado de Daño
Fisuras horizontales, por flexión. Fisuras verticales, por flexión, cercanas al paño de los castillos.	0.04	0.80	0.50	Ligero (I)
Primer agrietamiento de la mampostería, por tensión diagonal o cortante.	0.13	0.35	0.85	Moderado (II y III)
Inicio de la penetración del fisuramiento inclinado en los extremos de los castillos.	0.20	0.27	0.90	Fuerte (IV)
Agrietamiento en forma de "X" en todos los paneles de mampostería.	0.23	0.24	0.98	Fuerte (IV)
Aplastamiento del concreto, agrietamiento horizontal distribuido en la altura de los castillos.	0.32	0.18	1.0	Fuerte (V)
Concentración de grietas diagonales en los extremos de los castillos. Desconchamiento del recubrimiento de concreto.	0.42	0.13	0.99	Grave (V)
Concentración de daño en los extremos inferiores de los castillos. Plegamiento del refuerzo longitudinal (deformación en "S").	0.50	0.10	0.80	Grave (no se clasifica)

() Clasificación de acuerdo a la Tabla 5 de la Ref. (Rodríguez y Castrillón, 1995)

Como puede observarse en la Tabla 5, la degradación de rigidez es un parámetro muy importante que debe tenerse en cuenta, tanto en la evaluación de estructuras existentes como en el diseño de nuevas estructuras de mampostería confinada. En una evaluación analítica del comportamiento de edificaciones de mampostería confinada en el estado de Michoacán durante el sismo del 11 de enero de 1997 ($M_s = 7.3$), se evidenció que el daño exhibido pudo estar asociado a una distorsión lateral, o demanda de deformación lateral, del orden de 0.15 % (Rodríguez *et al*, 1997). Con base en los resultados experimentales obtenidos de muros aislados y sistemas acoplados de mampostería confinada, una buena aproximación del índice de degradación de rigidez lateral (i.e., el cociente de la rigidez lateral K y la rigidez lateral elástica K_e) en función del nivel de distorsión estaría dada por la siguiente relación

$$\frac{K}{K_e} = \frac{1}{1 + \alpha R^\beta} \quad (3)$$

donde α y β son parámetros que definen la degradación de rigidez y R es la distorsión lateral definida como el desplazamiento relativo entre la altura de entrepiso. A partir de un análisis de regresión, los valores de $\alpha = 5300$ y $\beta = 1.2$ proporcionan una buena estimación de la degradación de rigidez (ver Fig. 7). Diversas recomendaciones para la estimación de K_e para muros de mampostería confinada pueden encontrarse en la literatura. A fin de evitar un rápido deterioro de la rigidez lateral asociado a un grado de daño grave en los muros de mampostería y la posibilidad de formar un *piso suave* en la estructura se sugiere limitar la distorsión de entrepiso (i.e., cociente del desplazamiento lateral calculado entre la altura de entrepiso) a una distorsión de entrepiso permisible de que no exceda a 0.30 %.

A partir de la medición de las propiedades dinámicas obtenidas de pruebas de vibración ambiental se han propuesto metodologías para evaluar estructuras existentes, así como el nivel de recuperación estructural en edificios rehabilitados. Sin embargo, los resultados obtenidos de la pruebas de vibración ambiental durante las cuatro etapas del modelo tridimensional (Ruiz, 1995; Sánchez, 1998) sugieren que tal procedimiento puede sobre-estimar la recuperación de la rigidez inicial en una estructura de mampostería confinada. Esto se atribuye a que las propiedades dinámicas se obtienen para un rango de desplazamientos muy pequeño que no toma en cuenta la no-linealidad de los materiales y el rápido deterioro de la rigidez conforme aumenta el desplazamiento.

Resistencia de Diseño por Cortante

De acuerdo a la evidencia experimental (Ruiz, 1995) y para fines de diseño, una buena aproximación de la resistencia ante cargas laterales de una estructura rehabilitada con malla de alambre y recubrimiento de mortero, V_u , estaría dada por la relación

$$V_u = V_{rm} + V_{sm} \quad (4)$$

donde V_{sm} es la contribución de la malla de alambre y V_{rm} es la resistencia remanente. En la participación de la malla de alambre, sólo se consideran los alambres horizontales, mientras que en el valor de V_{rm} se considera incluida la participación de la mampostería y de los elementos confinantes. Se sugiere considerar la capacidad remanente, V_{rm} , de una estructura de mampostería confinada igual a la resistencia a cortante señalada en la normatividad vigente (DDF, 1993) como límite superior de esta contribución.

Dada la gran dispersión de las propiedades mecánicas de las piezas de mampostería provenientes de diferentes regiones del país, se recomienda realizar ensayos para medir la resistencia a cortante de la mampostería en vez de utilizar la resistencia de diseño, v^* , recomendada por las normas vigentes en el Distrito Federal (DDF, 1993). Por ejemplo, en el estado de Michoacán se ha medido un esfuerzo cortante promedio igual a 3.0 kg/cm^2 , el cual representa un límite inferior de los resultados obtenidos experimentalmente en muretes construidos con piezas producidas en la región (Alarcón y Alcocer, 1996). Para el Distrito Federal se puede admitir una resistencia a cortante de diseño de la mampostería igual a 3.5 kg/cm^2 para piezas macizas de barro recocido y considerar un factor de reducción unitario. Para tener en cuenta las incertidumbres inherentes al proceso constructivo, la participación

de los mecanismos resistentes, etc., se recomienda emplear un factor de reducción de resistencia F_r igual a 0.8 en la estimación de V_{rm} de acuerdo a la siguiente relación

$$V_{rm} = F_r V_{R, RDF} \quad (5)$$

La participación de los alambres horizontales a la resistencia se puede calcular con la siguiente expresión

$$V_{sm} = p_h f_y A_T \eta_h \quad (6)$$

donde p_h es la cuantía del refuerzo horizontal, f_y es la resistencia nominal de fluencia de los alambres de la malla, A_T es el área bruta de la sección transversal de muro y η_h es el factor de eficiencia de los alambres horizontales. Se recomienda utilizar un valor de η_h igual a 0.5.

Construcción

Ante el agrietamiento de los muros de mampostería dañados durante un evento sísmico es necesario retirar los fragmentos y piezas sueltas de las grietas, principalmente en las zonas más dañadas. Se sugiere remover el polvo y las partículas en el interior de las grietas mediante chorro de agua. Para fomentar la adherencia entre la mampostería y el recubrimiento de mortero, la superficie de los muros debe estar libre de cualquier acabado (mortero, tirol, yeso, pintura, etc.). Asimismo, la superficie de la mampostería debe estar limpia y con rugosidades (del orden de 0.5 mm de profundidad) mediante un martelinado suave. Se recomienda rellenar las grietas inclinadas en la superficie de la mampostería con mortero de cemento y en zonas muy dañadas es recomendable sustituir las piezas agrietadas por nuevas piezas. Cuando la anchura de las grietas es inferior a 0.5 mm es conveniente utilizar una lechada de cemento (mezcla fluida de cemento y agua). No se considera necesario el uso de resinas para el relleno de las grietas. La evidencia experimental mostró que la aplicación del recubrimiento de mortero puede realizarse en forma manual o por vía neumática, aumentando en ambos casos la capacidad ante cargas laterales (Delfin *et al*, 1991). En caso de encontrarse dañados los castillos (por ejemplo, con desconchamiento del recubrimiento y parte del núcleo de concreto, plegamiento de las varillas longitudinales, etc.) se recomienda reparar localmente la zona afectada mediante la sustitución del concreto fracturado con concreto nuevo, y enderezar los plegamientos de las varillas.

La evidencia experimental ha mostrado que la contribución del mecanismo de dovela del refuerzo longitudinal (por ejemplo, plegamiento del refuerzo longitudinal cuando las grietas inclinadas incursionan en los castillos) ha sido benéfico para sostener la capacidad de deformación y aumentar la capacidad ante cargas laterales por encima de la carga de agrietamiento, por lo que se sugiere reforzar los extremos de los castillos con estribos cerrados a cada hilada o a $d_c/2$ (la que resulte en una menor separación) en una longitud no menor que un sexto de su altura libre, $4 d_c$, ni que 40 cm, donde d_c es el peralte del castillo (Alcocer, 1997).

Con la intención de distribuir el agrietamiento en forma uniforme y de obtener un comportamiento estable y con amplia disipación de energía, se recomienda utilizar una

densidad mínima de 9 anclajes/m². El uso de corcholata y clavos para madera de 5 cm de longitud a manera de anclaje mostró buenos resultados si se utiliza con una densidad mínima de 9 anclajes/m². Alternativamente, el uso de arandelas metálicas a manera de anclaje permite una adecuada sujeción de la malla a la superficie de la mampostería (Alcocer *et al.*, 1996). Se sugiere que los bordes de la malla se sujeten a los castillos y dalas mediante anclajes adicionales, así como buscar que la malla de alambre rodee los castillos. Diversas recomendaciones cualitativas (i.e., colocación en puertas ventanas, disposición de los anclajes) para el mejor uso de esta técnica, basadas en experiencias de estructuras dañadas en la región balcánica, pueden encontrarse en (Iglesias *et al.*, 1987).

CONCLUSIONES

A partir de un análisis de la evidencia experimental más reciente obtenida en diversos programas de investigación, principalmente en México, sobre el uso de malla de alambre como esquema de rehabilitación de estructuras con muros de mampostería confinada que han sufrido daño del tipo sísmico se desarrollaron las siguientes conclusiones:

1. El uso de malla de alambre recubierta con mortero de cemento como técnica de rehabilitación permite incrementar la capacidad ante cargas laterales, disminuir la tasa de deterioro de la rigidez lateral y aumentar la capacidad de desplazamiento en estructuras de mampostería confinada con daño severo.
2. La resistencia ante cargas laterales que aporta la malla de alambre electrosoldada depende de la cuantía y la eficiencia de los alambres horizontales, la calidad y la densidad de los anclajes para ligar la malla al muro, la relación de aspecto de los paneles, así como la calidad del recubrimiento.
3. En la estimación de la capacidad ante cargas laterales es posible tener en cuenta la *resistencia remanente* de la mampostería si se lleva cabo un proceso de reparación local de las grietas inclinadas y castillos, así como el tratamiento de la superficie de los muros de mampostería.
4. Es conveniente tener en cuenta el deterioro de rigidez lateral como criterio adicional a la capacidad ante cargas laterales, como tradicionalmente se ha empleado, para la evaluación de las estructuras de mampostería confinada que han sufrido daño del tipo sísmico. El uso de funciones que permitan correlacionar la degradación de rigidez y, por consiguiente, el daño físico en función de la distorsión lateral puede complementar los pasos a seguir durante un proceso de evaluación estructural. Para ello, es necesario contar con mayor evidencia experimental y levantamiento de daños después de un sismo para calibrar la metodología propuesta, tomar en cuenta la diversidad en las propiedades mecánicas de los materiales y el tipo de construcción (i.e., confinada o reforzada).
5. Con el fin de limitar el nivel de daño ante la incidencia de un evento sísmico, se sugiere que las estructuras de mampostería confinada sean diseñadas para que la demanda de

desplazamiento lateral, o distorsión de entrepiso, no exceda una distorsión de entrepiso permisible del orden de 0.25 a 0.30 %.

AGRADECIMIENTO

El programa experimental de los modelos 3D y 3DR se llevó a cabo en el Laboratorio de Estructuras Grandes del Centro Nacional de Prevención de Desastres, como parte de un extenso programa de investigación sobre el comportamiento de estructuras de mampostería encabezado por el Dr. Alcocer. El estudio contó con el patrocinio del Instituto del Fondo Nacional para la Vivienda de los Trabajadores (INFONAVIT) y de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). Los autores reconocen y agradecen la colaboración de los Srs. Pablo Olmos, José A. Zepeda, Adolfo Peña, Leonardo Flores y Tomás Sánchez durante el desarrollo de esta investigación. A los Srs. Martín Rodríguez y Jesús Aguayo se agradece su participación en la construcción de la rehabilitación. Las pruebas de vibración ambiental se desarrollaron bajo la asistencia del Dr. David Murià Vila, a quien se le extiende nuestra gratitud. Nuestro agradecimiento a los dos revisores anónimos por sus valiosos comentarios y sugerencias hacia este trabajo. Finalmente, el apoyo brindado por el Dr. Roberto Meli Piralla es grandemente apreciado.

REFERENCIAS

- Alarcón, P. y Alcocer, S. M. (1997), “Repercusión de las características mecánicas de la mampostería en el diseño sísmico”, *Memorias XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Vol. I, Veracruz, México, pp. 625-634.
- Alcocer, S.M., Ruiz, J., Pineda, J., Zepeda, J.A. (1996), “Retrofitting of confined masonry walls with welded wire mesh”, *Proceedings XI World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No. 1471, Acapulco, México.
- Alcocer, S.M. (1997), “Comportamiento sísmico de estructuras de mampostería: una revisión”, *Memorias XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Vol. I, Veracruz, México, pp. 164-191.
- Delfín, F., Astroza, M., Águila, V., Sepúlveda, L. (1991), “Evaluación de la eficiencia de soluciones de reparación para muros con daños del tipo sísmico en muros de albañilería confinada”, *Memorias Primer Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y Tercero de Control de Calidad*, Córdoba, Argentina.
- Delfín, F., Astroza, M., Águila, V., Cortés, R. (1992), “Estudio experimental de soluciones de reparación para muros de albañilería de bloque de hormigón con daño de tipo sísmico”, *Memorias IX Jornadas Chilenas del Hormigón*, octubre, La Serena, Chile, pp. 119-123.

- Departamento del Distrito Federal (1993), Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería, Gaceta Oficial del Departamento del D.F., 21 pp.
- Hernández, O. (1981), "Procedimientos de reparación de estructuras dañadas por sismo, primera etapa", *Proyecto de Investigación No. 0731*, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Iglesias, J., Robles-Fernández, F., De la Cera, J., González, O. (1987), "Manual de reparación de estructuras de concreto y mampostería", Depto. de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México, D.F.
- Maldonado, N. G., y Olivencia, L. (1992), "Techniques used to repair seismic-resistant masonry walls", *Proceedings X World Conference on Earthquake Engineering*, Madrid, Spain, V9: 5389-5394.
- Ruiz, J., Zepeda, J.A., Alcocer, S.M., Meli, R. (1994), "Reparación y refuerzo de una estructura tridimensional de mampostería confinada de dos niveles a escala natural", *Memorias IX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Vol. II, Zacatecas, México, pp. 596-605.
- Ruiz García, J. (1995), "Reparación y refuerzo de una estructura tridimensional de dos niveles a escala natural", *Tesis de maestría*, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, diciembre, 251 pp.
- Rodríguez, M. y Castrillón, E. (1995) "Manual de evaluación postsísmica de la seguridad estructural de edificaciones", *Serie del Instituto de Ingeniería No. 569*, Universidad Nacional Autónoma de México, 57 pp.
- Rodríguez, M., Alarcón, P. y Machicao, R. (1997), "Evaluación del comportamiento sísmico de estructuras a base de muros de mampostería durante el sismo de Caleta de Campos, del 11 de enero de 1997", *Memorias XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Vol. II, Veracruz, México, pp. 1361-1370.
- Sánchez, T. A. (1998), "Comportamiento de estructuras de mampostería confinada sujetas a cargas laterales", *Tesis de maestría*, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 212 pp.