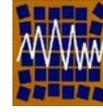




Universidad de Concepción
Departamento de Ingeniería Civil



Asociación Chilena de Sismología e
Ingeniería Antisísmica

A16-01 ENSAYOS DE MUROS DE ALBAÑILERÍA ARMADA DAÑADOS Y REPARADOS SOMETIDOS A CARGA HORIZONTAL DINÁMICA

J. Campbell B.¹, M. Durán L.¹, L. Díaz Z.¹, A. Aguilera C.², C. San Francisco V.²

*1.- Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Universidad de la Serena
Benavente 980, La Serena, Chile*

e-mail: jcampbel@userena.cl, ldiaz@userena.cl, mduran@userena.cl

*2.- Memoristas Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Universidad de la Serena
Benavente 980, La Serena, Chile*

e-mail: andres_ac77@hotmail.com

RESUMEN

Se muestran los resultados de los ensayos dinámicos de muros de albañilería armada a escala real dañados y luego reparados mediante dos técnicas: engrapado de las grietas con corchetes y el refuerzo con doble malla de acero y mortero. Los muros (4 probetas de albañilería armada de 2.52 m. de altura, 1.67 de longitud y 14 cm. de espesor) previamente se llevaron al colapso mediante aplicación de carga horizontal cíclica hasta su total pérdida de rigidez. Posteriormente se repararon mediante las técnicas indicadas: 2 muros se engraparon las grietas con corchetes de acero y 2 muros se reforzaron mediante doble malla de acero y aplicación de mortero proyectado (shotcrete) y se sometieron nuevamente a ensayos mediante aplicación de carga horizontal cíclica hasta su colapso. Se muestran los ciclos de histéresis de los muros reparados para distintos niveles de desplazamientos y se comparan con los correspondientes ciclos de histéresis de los muros originales.

Palabras Clave: Ensayos, Muros de albañilería armada, Reparación de estructuras

1. INTRODUCCIÓN

Gran parte de las viviendas en Chile se construyen en albañilería, tanto armada como confinada. Este tipo de construcciones sufren, con ocasión de sismos severos, una importante cantidad de daños que usualmente son reparados utilizando diferentes técnicas, Lüders (1990).

Con ocasión de la puesta en marcha de un actuador dinámico de doble acción y su correspondiente marco de reacción para el ensayo de estructuras a escala real, en el Laboratorio de Estructuras del Departamento de Ingeniería en Obras Civiles de la Universidad de La Serena se construyeron una serie de muros de albañilería armada, los que se ensayaron hasta su colapso, entendiéndose como este, a la total pérdida de rigidez lateral, Arancibia y Vicencio (2004).

Utilizando los muros colapsados del trabajo anterior, se aprovechó de repararlos y volverlos a ensayar para estudiar el comportamiento de dos técnicas de reparación: engrapado y refuerzo con doble malla de acero (shotcrete). El presente trabajo representa un resumen de la memoria de titulación de Aguilera y San Francisco (2005), donde se presentan mayores detalles.

2. MÉTODOS DE REPARACIÓN UTILIZADOS

Se utilizaron dos métodos de reparación y refuerzo de muros de albañilería armada, indicados en Lüders, (1990).

a) Engrapado

El engrapado corresponde a una verdadera costura de la grieta por medio de insertos de acero en forma de grapas tal como de muestra esquemáticamente en las Figuras 2.1 y 2.2.

b) Enchapado y refuerzo con doble malla de acero

El enchapado con refuerzo consiste en colocar una doble malla de acero (generalmente una malla ACMA) por ambas caras del muro, las que posteriormente se recubren con mortero, idealmente proyectado (shotcrete). En la Figura 2.3 se muestra en forma esquemática la colocación de la doble malla.

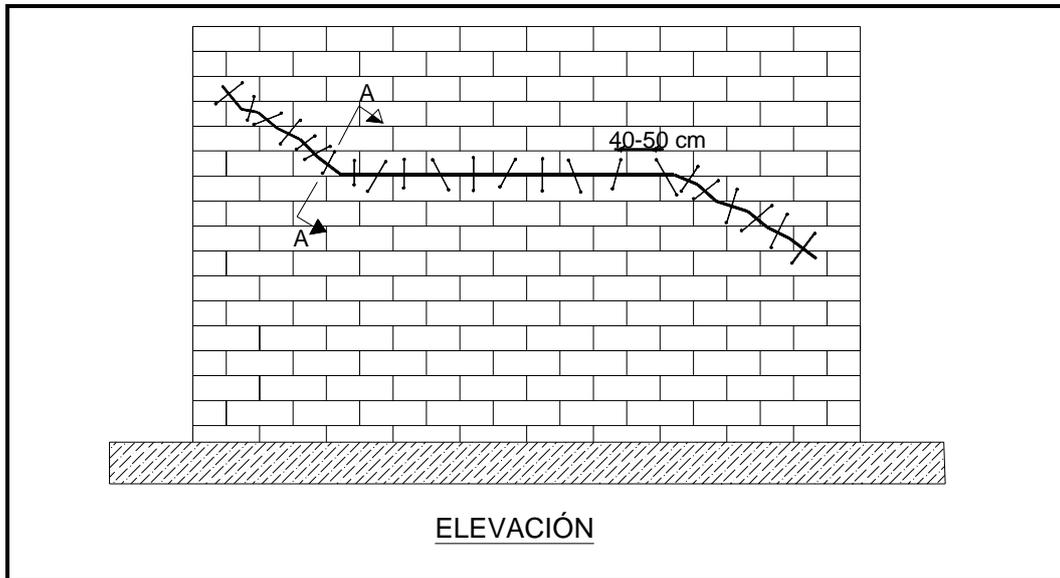


Figura 2.1: Engrapado de la grieta (Lüders, Carl 1990)

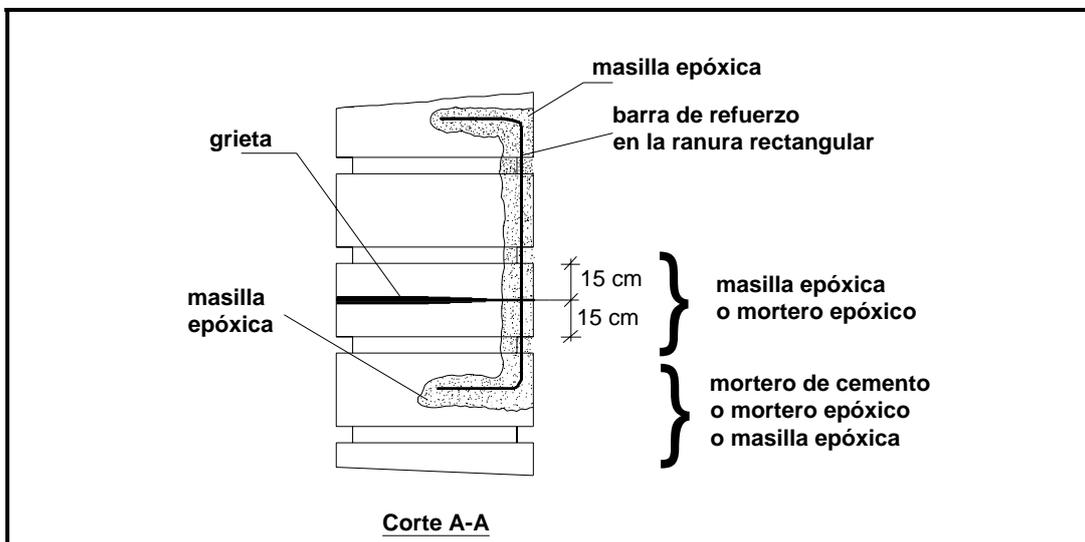


Figura 2.2: Detalle de la grapa (Lüders, Carl 1990)

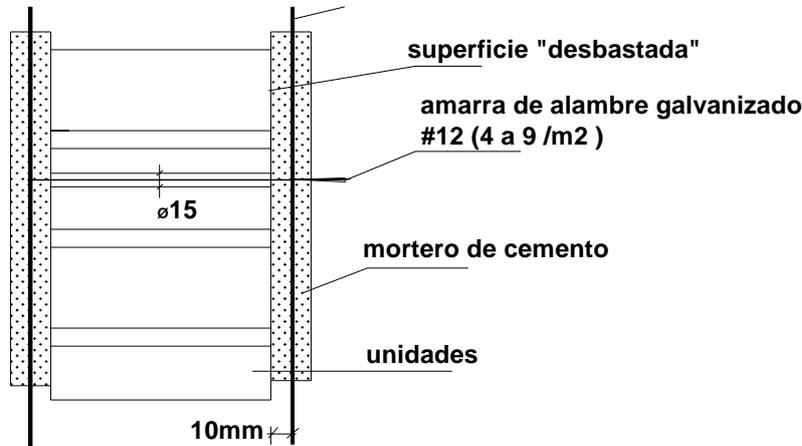


Figura 2.3: Forma de fijar la malla de refuerzo en un enchape (Lüders, Carl 1990)

3. MUROS REPARADOS

En las Figuras 3.1 y 3.2 se muestran en forma esquemática la reparación de los muros 1 y 2 con el sistema de engrapado. Se muestran ambas caras de los muros. En el muro 1 se colocaron 12 grapas y en el muro 2 13 grapas por cada cara. Cinco de las grapas correspondieron a anclajes a la viga de fundación.

Los corchetes se fabricaron con acero A44-28H de diámetro 10 mm. Estos corchetes tienen forma de C, con puntas dobladas de longitud aproximada 4 cms. y longitud del lado largo variable de acuerdo a la grieta a coser. Las perforaciones en la albañilería se realizaron en el mortero de pega. Los corchetes de anclaje (con forma de L) se dispusieron evitando anclar el lado corte de la L en una misma hilada. La profundidad de anclaje en la viga de fundación fue de 15 cms.. En todos los casos el adhesivo epóxico utilizado fue Sikadur 31. Para el ensayo de los muros se esperó un lapso de 24 horas, que corresponde al tiempo de fraguado del Sikadur.

En las Figuras 3.3, 3.4 y 3.5 se muestran los muros 3 y 4 reparados con el sistema de doble malla (ACMA C139) y shotcrete y su implementación en el laboratorio. La diferencia fundamental entre ambas reparaciones fue la cantidad de anclajes a la viga de fundación. En el muro 3 se colocaron 5 anclajes por cara, mientras que en muro 4 se dispusieron 10 anclajes por cara. La distancia entre la malla de refuerzo y el muro se fijó en 1 cm. mediante trozos de barra de acero de 10 mm. El mortero proyectado se colocó en 3 capas sucesivas de 1 cm. de espesor. Entre una capa y la siguiente se dejaron 24 horas para el fraguado. La dosificación en volumen del mortero fue de 1:3:1 (cemento:arena:agua). El promedio de resistencia a compresión del mortero fue de 53 kg/cm². Para el ensayo de los muros se esperó entre 5 y 7 días con el correspondiente curado de las superficies.

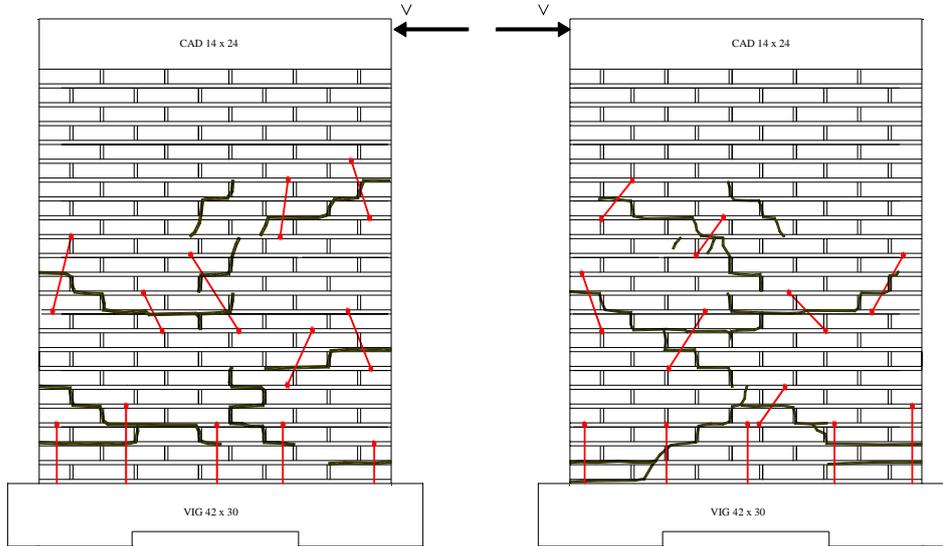


Figura 3.1: Reparación Muro N°1

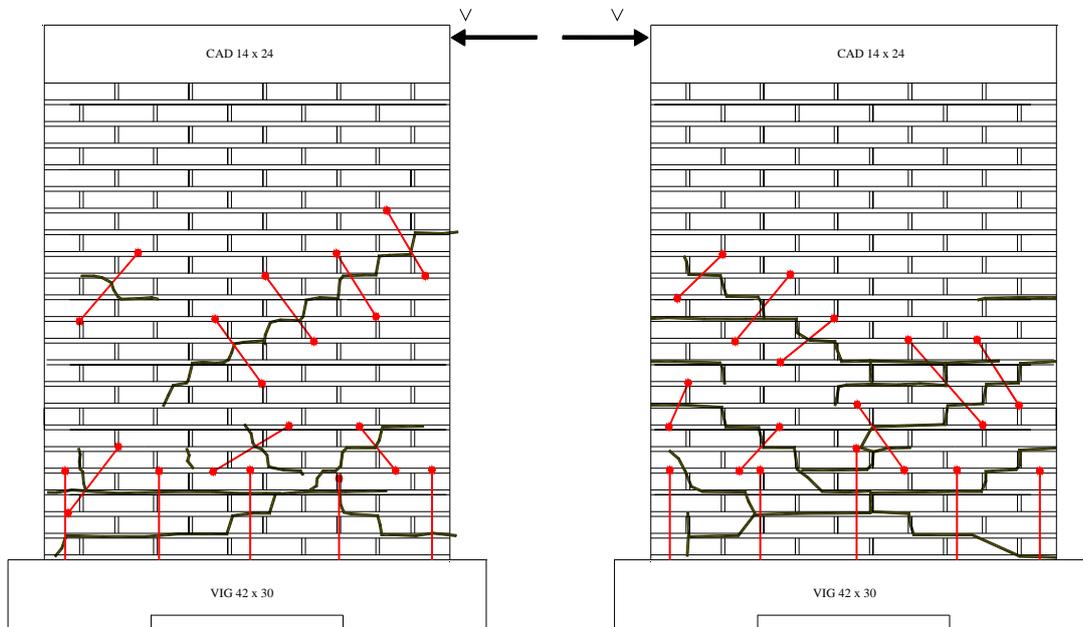


Figura 3.2: Reparación Muro N°2



Figura 3.3: Muro N°4 con Malla Acma instalada



Figura 3.4: Aplicación de mortero proyectado



Figura 3.5: Muro N°3 con instrumentos instalados para ensayo

4. ENSAYOS Y RESULTADOS

Los ensayos fueron definidos en base a control de desplazamientos, para una carga dinámica representada por una onda sinusoidal de amplitud creciente y una frecuencia de 0.5 Hertz. La amplitud se incrementa en 0.4 mm. en cada paso, de modo de realizar la toma de datos asociada a cada incremento. Por razones de seguridad el ensayo se realiza hasta llegar a niveles donde para el incremento de desplazamiento no se logra un incremento importante de la carga, lo que indica que el muro ha perdido gran parte de su rigidez.

A continuación se presentan las curvas de histéresis de los muros ensayados, tanto en su situación original como en su situación reparada (Gráficos 4.1 al 4.6). Luego, se muestran para cada muro las comparaciones de las curvas Carga-Desplazamiento en las situaciones original y reparada (Gráficos 4.7 al 4.9).

Es necesario aclarar que respecto del Muro N°1 no se presentan resultados debido a que su ensayo en la situación original entregó valores poco confiables y por lo tanto no se dispuso de punto de comparación entre las situaciones original y reparada. En todo caso, del análisis de los resultados obtenidos se observa un comportamiento similar al del Muro N°2.

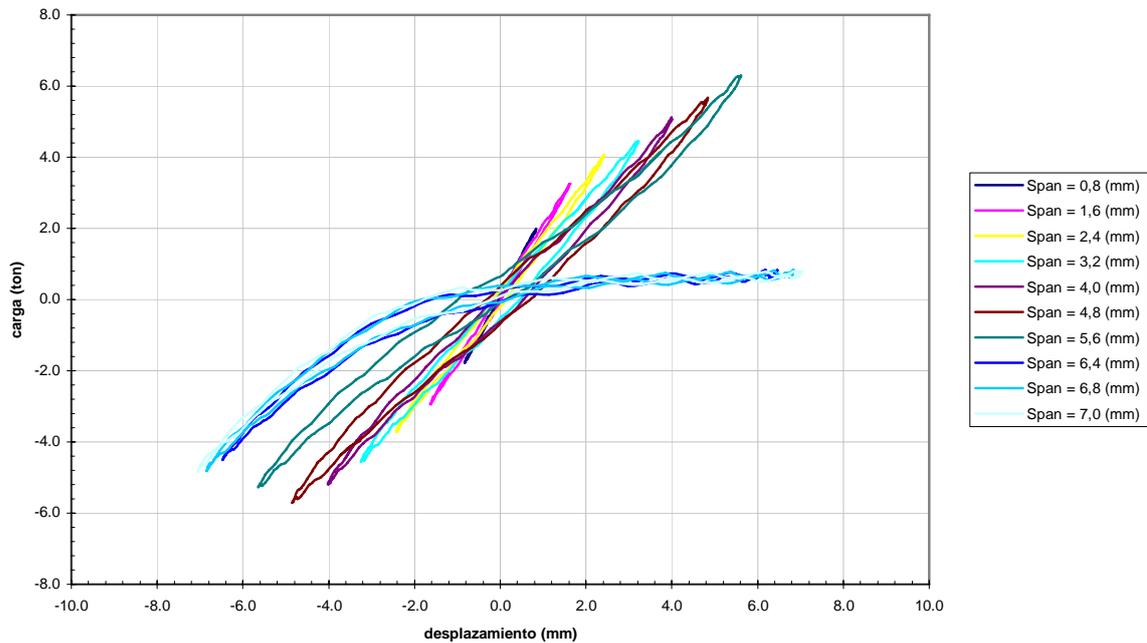


Gráfico 4.1: Curvas de histéresis Muro N°2 original

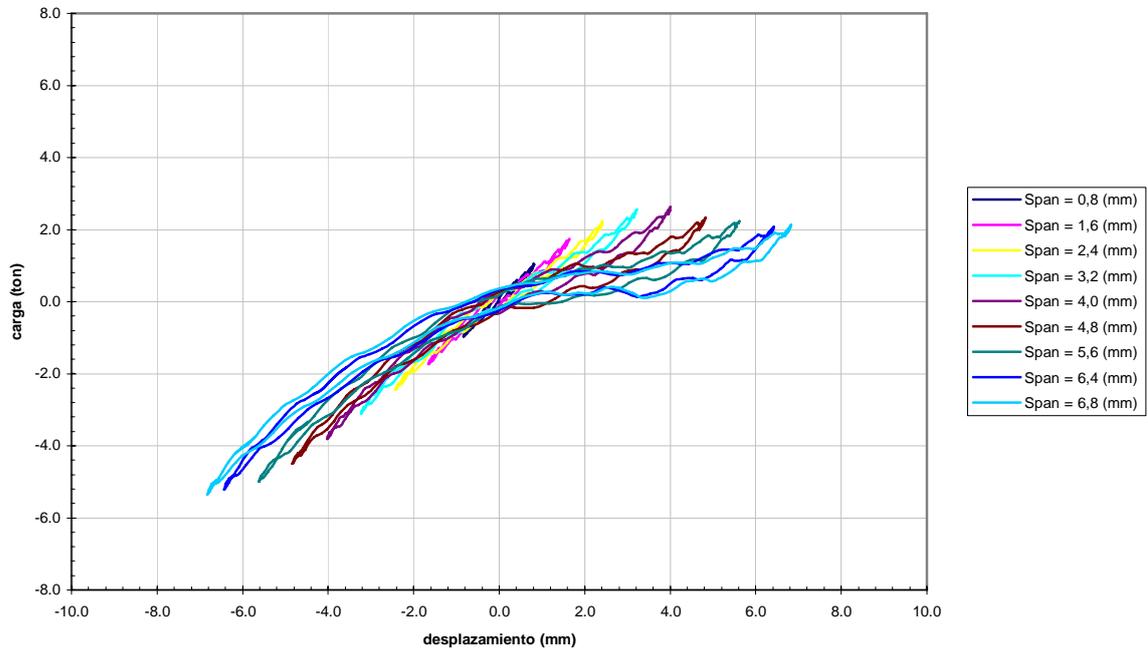


Gráfico 4.2: Curvas de histéresis Muro N°2 reparado (engrapado)

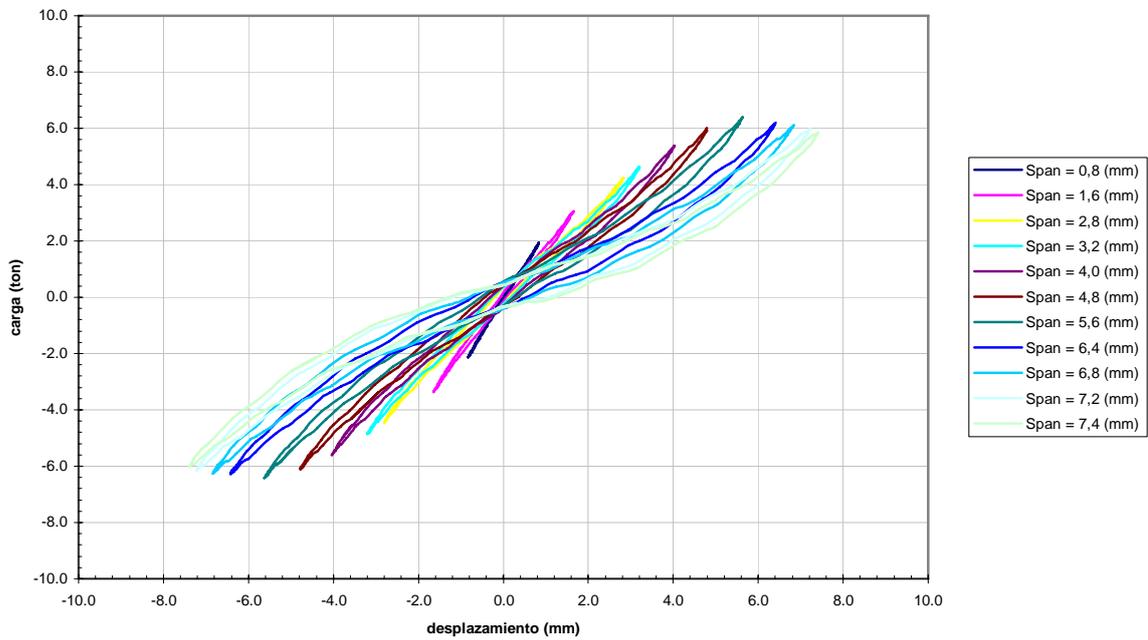


Gráfico 4.3: Curvas de histéresis Muro N°3 original

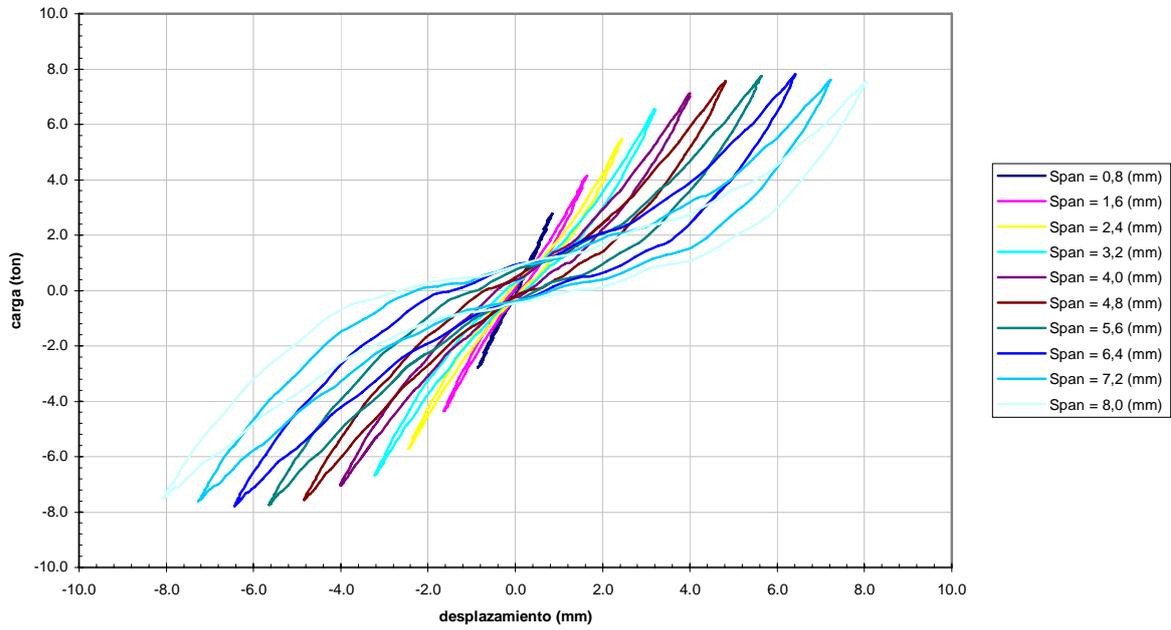


Gráfico 4.4: Curvas de histéresis Muro N°3 reparado (shotcrete)

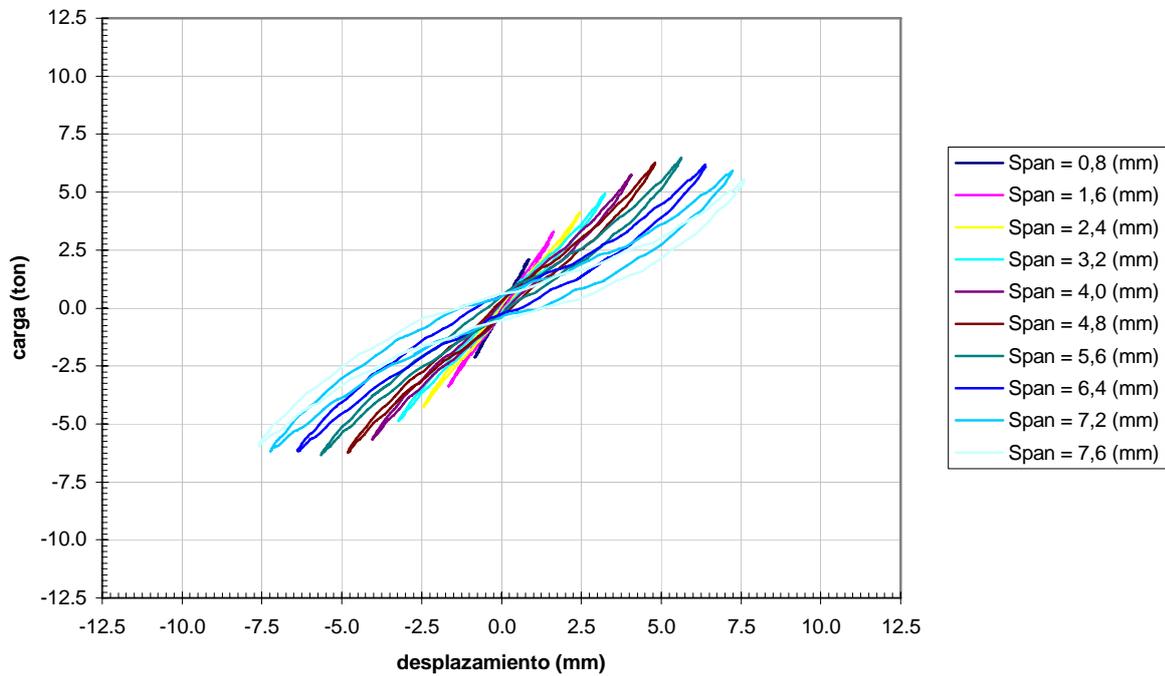


Gráfico 4.5: Curvas de histéresis Muro N°4 original

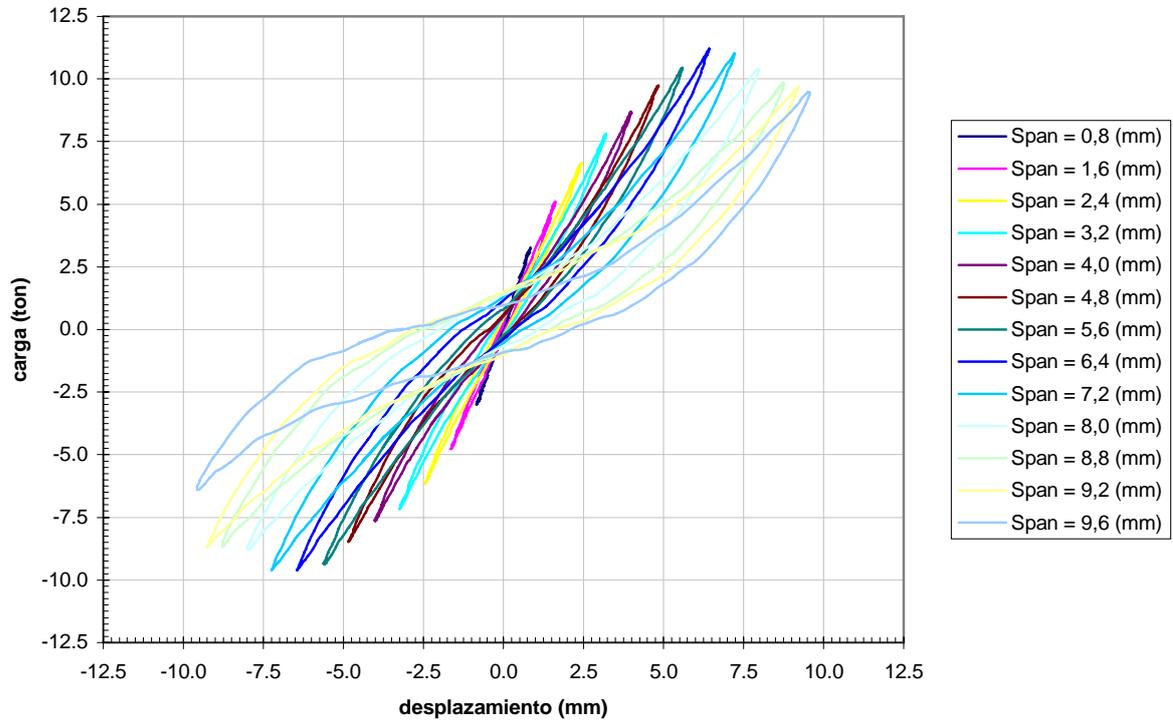


Gráfico 4.6: Curvas de histéresis Muro N°4 reparado (shotcrete)

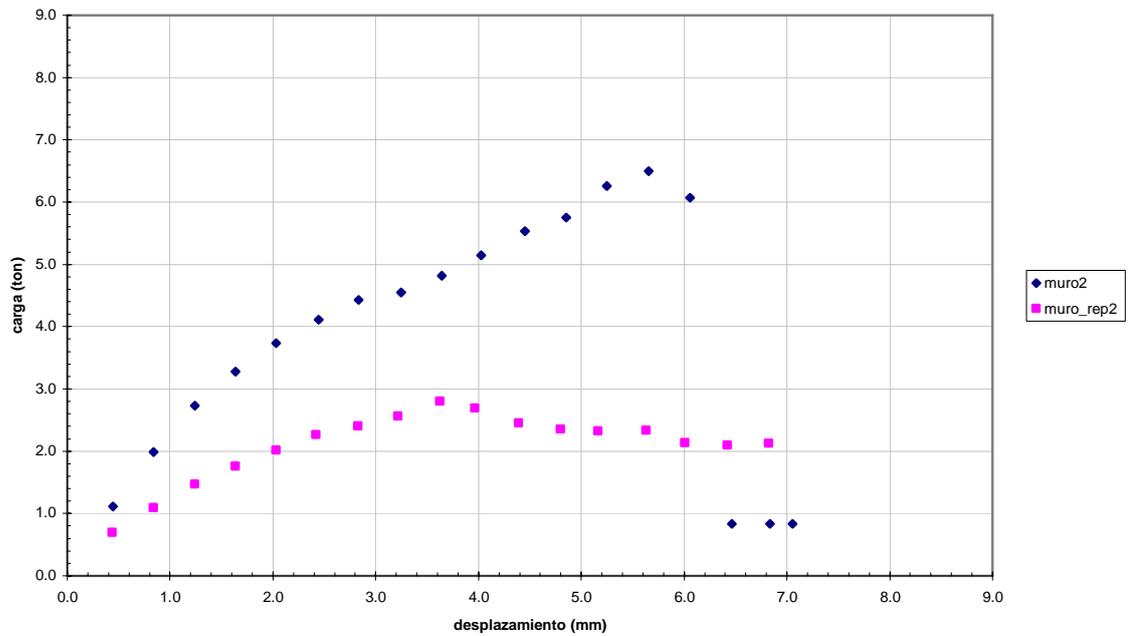


Gráfico 4.7: Comparación de Curvas Carga-Desplazamiento en Muro N°2

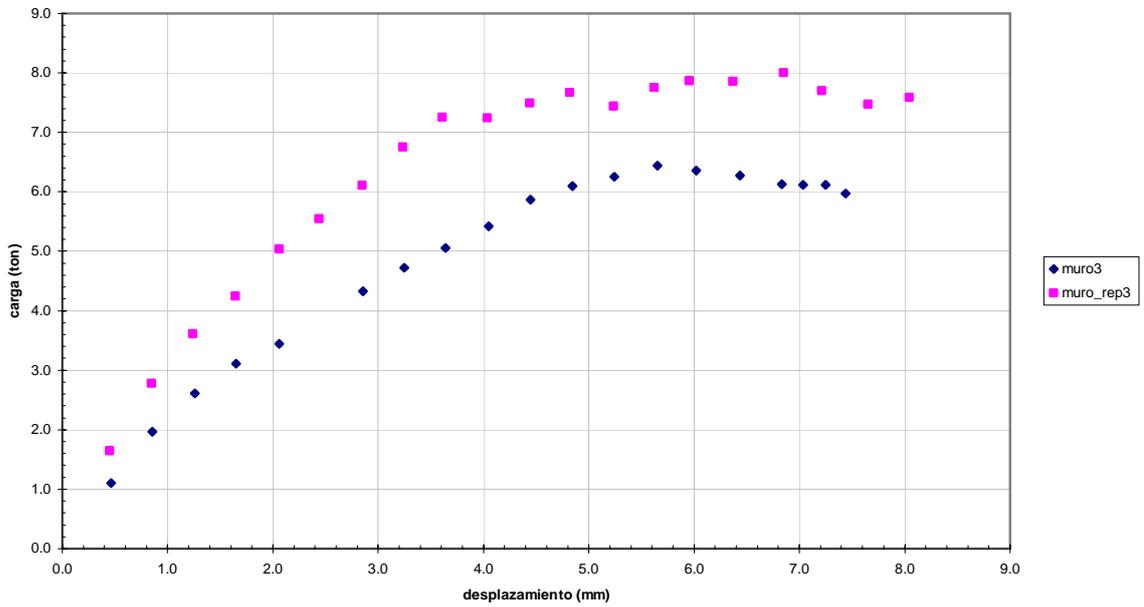


Gráfico 4.8: Comparación de Curvas Carga-Desplazamiento en Muro N°3

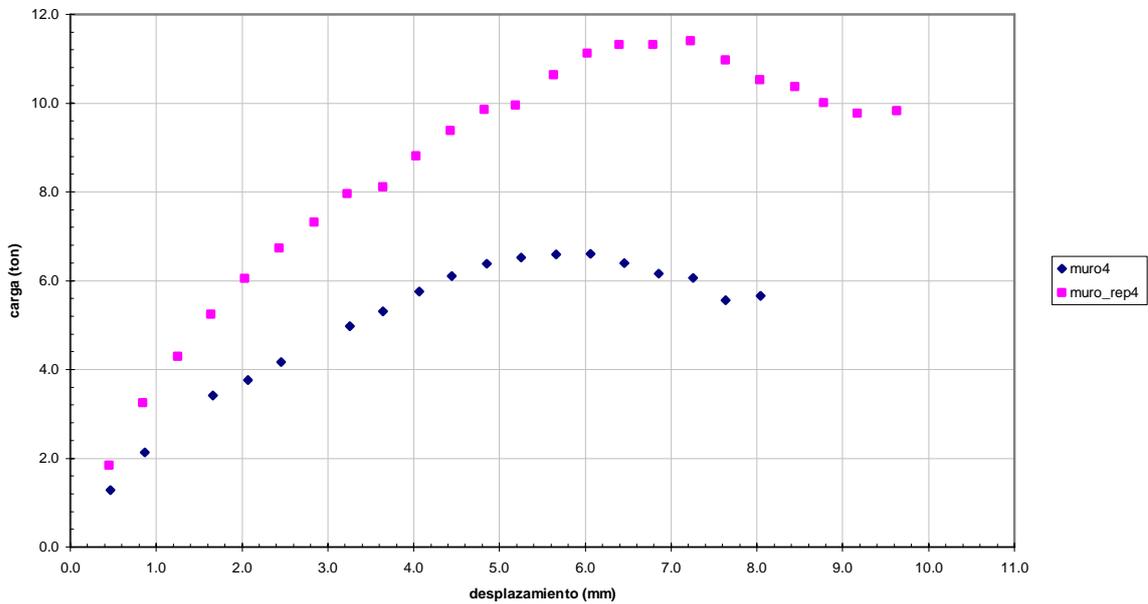


Gráfico 4.9: Comparación de Curvas Carga-Desplazamiento en Muro N°4

En la Tabla 4.1 se presenta una comparación de los resultados. La rigidez elástica se calculó como un promedio de la rigidez inicial para desplazamientos positivos y negativos. Para el Muro N°2 reparado se observa que su rigidez elástica es muy inferior al caso original. Sin embargo, se debe considerar que la rigidez de dicho muro colapsado antes de su reparación era prácticamente nula. Para los Muros N°3 y N°4 se observa claramente un aumento de su rigidez inicial, lo que demuestra que en dichos casos la reparación representó un reforzamiento.

Tabla 4.1: Comparación de resultados.

Muro	Situación Original			Situación Reparado		
	$K_{elastico}$ (Ton/mm)	P_{max} (+) (Ton)	P_{max} (-) (Ton)	$K_{elastico}$ (Ton/mm)	P_{max} (+) (Ton)	P_{max} (-) (Ton)
2	1,927	6,500	5,854	0,973	2,797	5,392
3	1,936	6,440	6,434	2,454	8,001	7,923
4	1,906	6,608	6,401	2,939	11,397	9,829

5. CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis comparativo realizado por medio de las curvas carga-desplazamiento en cada uno de los muros, se puede observar que para el tipo de falla en que incurren, el método de reparación o reforzamiento más eficiente que en definitiva cumple con los requerimientos de trabajo es el reforzamiento con doble malla de acero. Con este método fue posible aumentar en forma considerable la resistencia del muro dañado e incluso mejorarla con respecto al muro original, debido a que para la misma amplitud de desplazamientos se obtuvo una mayor carga, mostrando esto un aumento importante en la rigidez del muro.

La reparación con corchetes (grapas) es más imprecisa pues se realiza sólo mediante análisis visual del muro por parte del profesional para determinar las grietas principales y es él quien determina la ubicación de las grapas que pudiesen impedir el movimiento relativo en las zonas fracturadas del muro. No es posible reparar toda la amplitud de las grietas, sino más bien sólo se realiza la reparación de las grietas principales.

Al hacer una comparación sencilla de costos se obtuvo lo siguiente:

a) Reparación con grapas

Sikadur 31	4 u	\$ 16.976
Barras Ø 8	2 u	\$ 2.256
Arriendo Rotomartillo	1 día	\$ 7.000
Total		\$ 26.232

b) Refuerzo con doble malla de acero

Malla Acma C139	1 u	\$ 21.121
Cemento	3 u	\$ 12.960
Barras Ø 8	1 u	\$ 1.126
Rollo alambre	1 u	\$ 4.200
Arriendo Rotomartillo	1 día	\$ 7.000
Total		\$ 46.407

No se indica el costo de la mano de obra, pero el tiempo empleado en la reparación fue similar para ambos casos. Se observa entonces que el refuerzo con doble malla de acero y shotcrete resultó alrededor de un 77% mas cara que la reparación con grapas.

Para todos los ensayos realizados, tanto en los muros originales como reparados, se observó una falla por flexión y corte con deslizamiento en la base del muro (unión con la viga de fundación), por lo cuál se observó la importancia de la reparación de esa zona. En el caso de las grapas, varias de ellas debieron anclarse a la viga de fundación. En el caso del refuerzo con doble malla, se observó la importancia de colocar un número de anclajes suficientes entre la doble malla y la viga de fundación (ver diferencia entre muro reparado 3 y 4). En definitiva la falla de dichos anclajes determinó la falla de los muros reparados.

REFERENCIAS

Aguilera, A. y San Francisco, C. (2005). Reparación estructural de muros de albañilería armada sometidos a esfuerzo de corte. *Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Universidad de La Serena.*

Arancibia, I. y Vicencio, M. (2004). Estudio Experimental de Muros de Albañilería Armada con esbelteces mayores a 1 sometidos a Flexión y Esfuerzo de Corte. *Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Universidad de La Serena.*

Lüders, Carl (1990). Técnicas de Reparación y Refuerzo de Muros de Albañilería Armada. *Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.*