

Ensaye de muros de albañilería estructural construídos con bloques de hormigón y cuantía reducida de refuerzos

Cyclic tests of concrete masonry walls with reduced quantity of reinforcement

Oscar Ogaz*, Maximiliano Astroza** y Guillermo Sierra*

*IDIEM, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile, Santiago, CHILE

**Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, CHILE
oogaz@idiem.uchile.cl

Fecha de recepción: 14/ 09/ 2005
Fecha de aceptación: 03/ 12/ 2005
PAG. 159 - 170

Resumen

En este trabajo se analiza el comportamiento de muros de albañilería construídos con bloques huecos de hormigón y con cuantía reducida de refuerzo, refuerzos que corresponden a las dos modalidades más utilizadas en el medio nacional, como son: la albañilería confinada y la albañilería armada. En particular se analizan los resultados obtenidos de los ensayos de cuatro muros de albañilería confinada y armada, los cuales son parte de un estudio experimental desarrollado para obtener información con la cual se pueda establecer las bases de diseño para viviendas de albañilería de uno y dos pisos. El comportamiento de los muros se analiza evaluando la capacidad resistente, la rigidez lateral inicial, la capacidad de deformación y de disipación de energía.

Palabras Clave: Muros de albañilería reforzada, ensayos cíclicos, bloques de hormigón, diseño sísmico

Abstract

The results of an experimental study of two confined masonry walls and two reinforced masonry walls with reduced quantity of reinforcement are presented. The full scale walls were made of hollow concrete blocks and were tested with horizontal cyclic loads. The dimensions of the walls were 3650x2250 mm and the thickness of the walls was 140 mm. The cross-sectional area of horizontal reinforcement is 0.0003 times the gross-sectional area of the reinforced masonry wall. The cracking and damage patterns, strength and stiffness degradation and deterioration, energy dissipation capacity and displacement capacity after the cracking are analyzed. The conclusions are useful for the seismic design of one and two stories masonry dwellings.

Keywords: Reinforced masonry walls, cyclic tests, hollow concrete blocks, seismic design

1. Introducción

El sistema estructural más usado en la costa oeste de Latinoamérica para construir viviendas de baja o mediana altura es con muros de albañilería, destacándose dos modalidades de refuerzo: la albañilería confinada y la albañilería armada. La diferencia entre ellas radica en la forma de materializar el refuerzo para resistir las acciones a las cuales están sometidos, especialmente cuando se trata de la acción de terremotos.

En particular, la albañilería confinada incorpora refuerzos que corresponden a elementos esbeltos de hormigón armado (pilares y cadenas) que "confinan o enmarcan" el paño de albañilería; en cambio, la albañilería armada incorpora barras de refuerzo colocadas en forma distribuida en los huecos de las unidades y en las juntas horizontales de mortero. Actualmente ambas modalidades

de refuerzo cuentan con un marco normativo en la mayoría de los países de la región, en particular en Chile las normas NCh1928 (INN, 1993) y la norma NCh2123 (INN, 1997) establecen las disposiciones y limitaciones que regulan el cálculo y diseño de este tipo de construcciones.

Teniendo en cuenta la necesidad de reducir los costos de las viviendas de albañilería de uno y dos pisos construídas en los programas locales de vivienda social, se han reducido los requerimientos mínimos de refuerzo que establecen las normas existentes (NCh1928 y NCh2123), considerando las demandas que imponen los sismos en este tipo de edificios y sus características arquitectónicas, especialmente su densidad de muros y la regularidad de la configuración estructural.

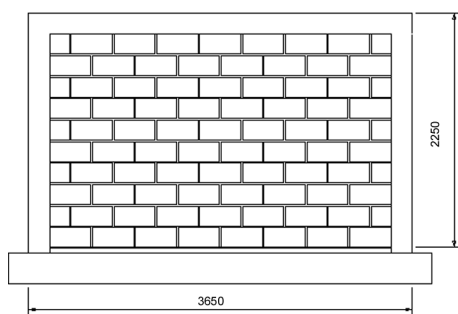
Con el propósito de reunir información que permita respaldar las reducciones destacadas, el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile conjuntamente con la Comisión de Diseño Estructural en Hormigón Armado y Albañilería desarrolló el Proyecto FDI denominado “Desarrollo de Recomendaciones Especiales para el Diseño de Viviendas de 1 y 2 Pisos”. En este proyecto, el Instituto de Investigación y Ensayes de Materiales de la Universidad de Chile, IDIEM, participó en dos programas experimentales orientados a evaluar la influencia de la armadura vertical en el comportamiento de muros de albañilería armada con baja cuantía de refuerzo (Sierra, 2002) y la influencia de la presencia de aberturas en el comportamiento de muros de albañilería confinada (Ogaz, 2004).

En el presente trabajo se entregan los resultados obtenidos del ensaye de 4 muros de albañilería construidos con bloques huecos de hormigón, dos de los cuales corresponden a muros de albañilería confinada y los otros dos a muros de albañilería armada con una cuantía de refuerzo vertical de 1,3‰ y de refuerzo horizontal de 0,33‰.

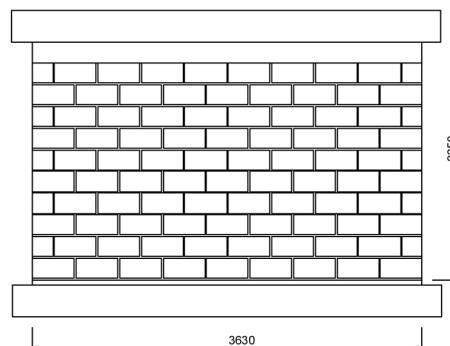
2. Programa experimental

2.1. Características de los especímenes

Para el desarrollo del estudio se construyeron muros de albañilería confinada de 3650 mm de largo y 2250 mm de alto y muros de albañilería armada de 3630 mm de largo y 2250 mm de alto, con un espesor de 140 mm, el cual corresponde al ancho de las unidades empleadas. La Figura 1 muestra detalle de las dimensiones de los muros ensayados.



a) Muro de albañilería confinada



b) Muro de albañilería armada

Figura 1. Dimensiones de los muros de albañilería confinada y armada

2.2. Materiales empleados

En la construcción de los muros se utilizaron morteros predosificados en seco, a los cuales sólo se les agregó agua durante el proceso de construcción. En ambos casos se utilizó el mismo mortero de pega de albañilería. El hormigón utilizado en los pilares y vigas de los muros de albañilería confinada fue grado H20, con un tamaño máximo nominal del árido de 8 mm. Este mismo producto fue utilizado en los muros de albañilería armada como material de relleno de los huecos donde se ubican las armaduras verticales de refuerzo. La resistencia a la compresión promedio de estos materiales se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Resistencia promedio a la compresión del mortero, material de relleno y hormigón

Resistencia a la compresión [MPa]	Tipo de probeta	Albañilería Confinada	Albañilería Armada
Mortero de pega	Rilem 40x40x160 mm	18,9	17,5
Material de relleno de los huecos	Rilem 40x40x160 mm	-	30,4
Hormigón de pilares y vigas (28 días)	Cubo 150 mm	23,9	-

Las unidades empleadas en la construcción de los muros se muestran en la Figura 2, correspondiendo a bloques huecos de hormigón de cemento de la clase A según la clasificación de la norma NCh180 (INN, 1965). Las características dimensionales y mecánicas se presentan en la Tabla 2.



Figura 2. Bloques de hormigón hueco

Tabla 2. Propiedades promedio de los bloques de hormigón

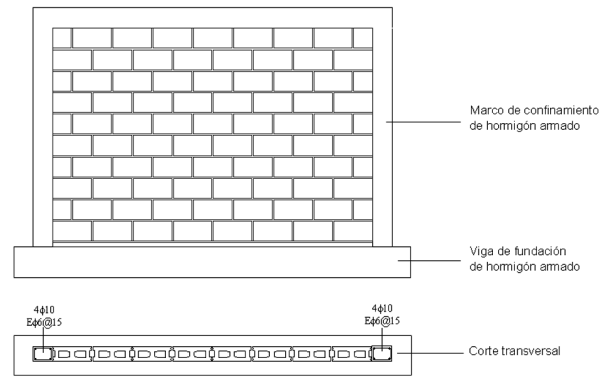
Dimensión / Propiedad	Unidad	Valor experimental
Largo	mm	392
Ancho	mm	140
Altura	mm	189
Espesor pared longitudinal (min)	mm	32
Área bruta	mm ²	54880
Área neta	mm ²	35343
Huecos*	%	35,6
Peso seco	N	134
Peso saturado	N	143
Absorción fría (24 Horas)	%	6,9
Resistencia a la compresión (promedio)	MPa	9,8

* Se determinó sobre el volumen bruto = área bruta x altura

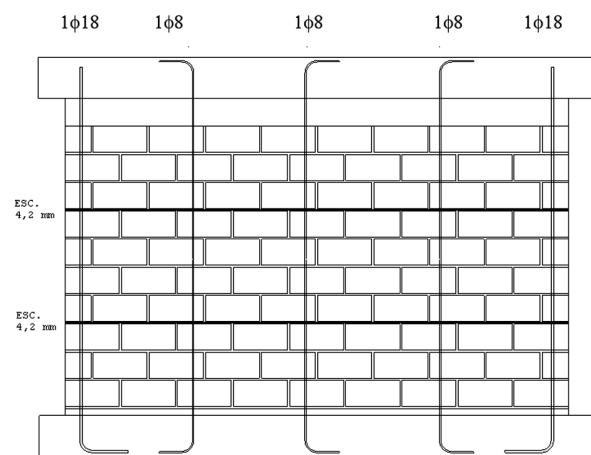
2.3. Refuerzos de los muros

Los muros de albañilería confinada se reforzaron con pilares de 200 mm de ancho, 150 mm de espesor y largo igual al alto del paño de albañilería, y una cadena de 200 mm de alto y 150 mm de espesor. Los pilares se reforzaron con 4 barras longitudinales de 10 mm de diámetro y estribos de 6 mm diámetro distanciados a 150 mm. La cadena se reforzó con 4 barras longitudinales de 10 mm diámetro y estribos de 6 mm diámetro espaciados a 150 mm. El tipo de acero fue A63-42H.

Los muros de albañilería armada se reforzaron con barras verticales de acero A63-42H, colocando una barra de 18 mm diámetro en cada borde y 3 barras de 8 mm de diámetro distribuidas en el paño. Además, se dispuso refuerzo horizontal constituido por dos escalerillas electrosoldadas de 4,2 mm de diámetro de acero AT56-50. En la Figura 3 se detalla el refuerzo utilizado tanto en los muros de albañilería confinada como en los muros de albañilería armada.



a) Muro de albañilería confinada

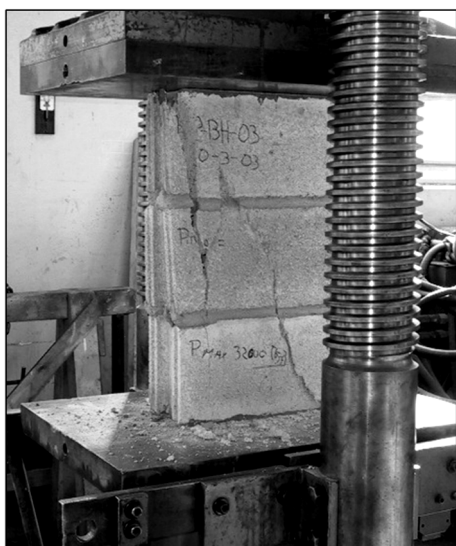


b) Muro de albañilería armada

Figura 3. Refuerzo de los muros de albañilería confinada y armada

2.4. Propiedades índices de la albañilería

Las propiedades mecánicas de la albañilería se determinaron ensayando prismas en compresión axial y muretes en compresión diagonal, según los procedimientos recomendados en las normas NCh1928 y NCh2123. El modo de falla típico de las probetas ensayadas se muestra en la Figura 4, en ella se aprecia que el agrietamiento de los muretes se propaga por las juntas de mortero, producto de la baja adherencia entre el mortero y la unidad. En la Tabla 3 se entregan los valores promedios de las propiedades de la albañilería medidos sobre área bruta.



a) Prisma de albañilería



b) Murete de albañilería

Figura 4. Ensayo de caracterización de la albañilería. Modos de fallas típicos

Tabla 3. Propiedades promedio de la albañilería

Propiedad	Alb. Confinada	Alb. Armada
	[MPa]	[MPa]
Resistencia a la compresión	6,89	4,8
Resistencia a la tracción diagonal	0,55	0,47
Módulo de elasticidad	4849	1963
Módulo de corte	528	705

2.5. Construcción de los muros

La construcción de los muros comenzó prefabricando las vigas de fundación. En el caso de los muros de albañilería confinada se dejaron insertas vainas que permiten la posterior instalación de las armaduras verticales antes de iniciar la construcción del paño de albañilería; en cambio, en el caso de los muros de albañilería armada las armaduras verticales se dejaron ancladas durante el proceso de construcción de las vigas.

La construcción del paño de albañilería se realizó en dos etapas, correspondiendo cada una a la mitad de la altura del paño, lo que equivale a 5 hiladas. De acuerdo con las técnicas de construcción, las unidades de albañilería no fueron humedecidas antes de su colocación.

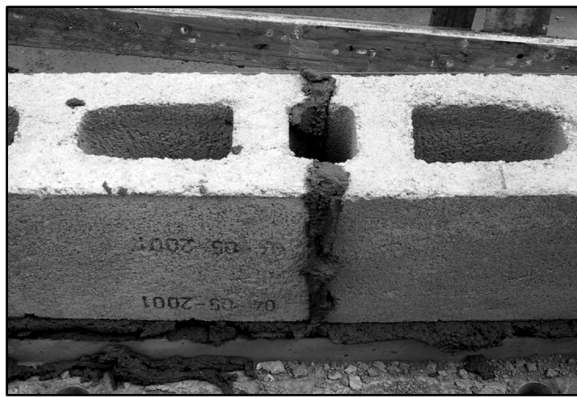
La materialización de la junta horizontal de mortero se llevó a cabo disponiendo filetes o cintas longitudinales de mortero en las paredes externas de las unidades. La junta vertical fue materializada colocando el mortero en las paredes laterales del bloque antes de la colocación de la unidad, la cual posteriormente es empujada y asentada contra las unidades ya pegadas. En la Figura 5 se muestra el procedimiento antes descrito.

Para el caso de los muros de albañilería armada, el relleno de los huecos donde se ubican las armaduras verticales se efectuó al término de cada etapa de construcción del paño. El vibrado del relleno se realizó mediante apisonado con una varilla de acero lisa. Conforme se avanzó en la materialización de las hiladas, se colocaron las escalerillas en las juntas horizontales de mortero de los muros de albañilería armada.

Una vez finalizada la construcción del paño de albañilería, éste se curó cubriéndolo con polietileno y mojando las canterías varias veces al día, durante los primeros siete días. Al término de éste período se colocó el hormigón de los pilares contra el paño de albañilería, el cual no tenía el borde endentado. Posteriormente, se confeccionaron la cadena superior de los muros de albañilería confinada y la cadena y la viga superior de repartición de carga de los muros de albañilería armada.



a) Junta horizontal



b) Junta vertical

Figura 5. Materialización de la junta horizontal y vertical

2.6. Ensayo de carga lateral cíclica

2.6.1. Técnica de ensayo

El ensayo realizado corresponde al de un muro en voladizo, sometido a la acción de una carga lateral alternada, aplicada en el plano del muro de modo cuasiestático, controlando la deformación lateral a nivel de la cadena superior. La carga lateral se aplicó por medio de un gato hidráulico de doble acción de 500 kN de capacidad. En el caso de los muros de albañilería confinada, la carga se aplicó concentrada en la esquina del muro a nivel de la cadena de confinamiento y en los muros de albañilería armada esta carga se aplicó distribuida a lo largo del muro, mediante la utilización de una viga de transmisión de carga.

Los muros fueron instrumentados de manera de registrar el comportamiento tanto global como local de los muros. La deformación lateral fue medida a nivel de la cadena superior al centro del muro. También se instrumentaron los muros para medir la distorsión angular en el paño de albañilería, las rotaciones en la base del muro y el deslizamiento del paño de albañilería respecto

a la viga de fundación. En las Figuras 6 y 7 se muestra un esquema del montaje de ensayo y la instrumentación empleada en el caso de los muros de albañilería confinada y armada, respectivamente.

2.6.2. Niveles de Deformación Aplicados

Como se ha destacado, los muros se ensayaron controlando el desplazamiento horizontal de la cadena superior. Las amplitudes de los desplazamientos aplicados se indican en la Tabla 4. En esta tabla se indica además la distorsión angular asociada, la cual se determina por la relación entre el desplazamiento aplicado y la altura a la cual se mide, expresada en tanto por mil.

Tabla 4. Desplazamientos y distorsiones angulares aplicadas a los muros

Desplazamiento lateral (mm)	0,5	1,2	1,5	2,0	3,0	5,0	7,0	10,0	14,0	18,0	22,0	28,0
Distorsión angular Δ/h (%)	0,2	0,6	0,7	0,9	1,4	2,3	3,3	4,7	6,5	8,4	10,2	13,0

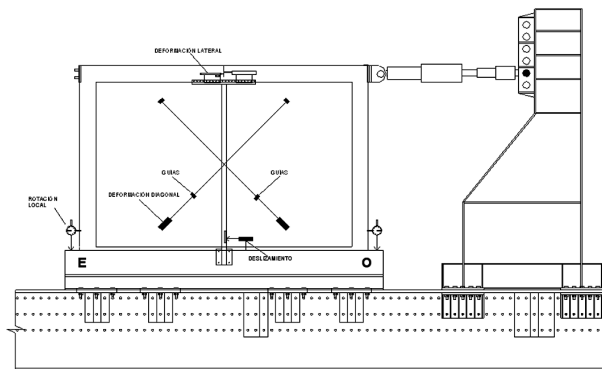


Figura 6. Montaje del ensayo de los muros de albañilería confinada

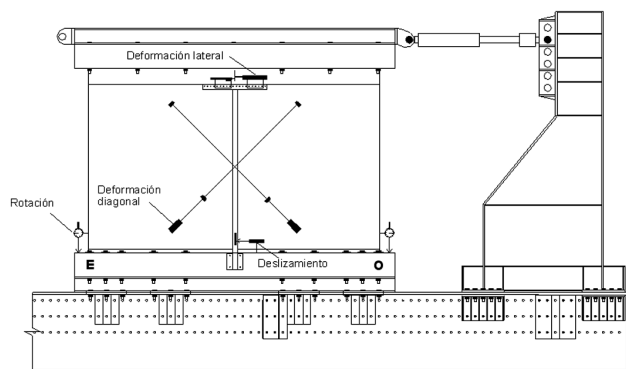


Figura 7. Montaje del ensayo de los muros de albañilería armada

3. Resultados

3.1. Comportamiento cualitativo de los muros

Para ambos tipos de refuerzo, la fisuración de los muros se observó desde los primeros ciclos de carga y correspondió a fisuras horizontales en la base del paño de albañilería. En el caso de los muros de albañilería confinada, estas fisuras comprometían a los pilares de confinamiento.

Posteriormente, se produjo el inicio del agrietamiento diagonal del muro, el cual se propaga principalmente por las juntas de mortero. Este estado de daños presenta grietas de anchos entre 0,2 a 0,4 mm para ambas modalidades de refuerzo y se genera para distorsiones angulares del orden de un 0,2 ‰ para los muros de albañilería confinada y de un 1,0 ‰ para los muros de albañilería armada.

La evolución de este agrietamiento dependió de la modalidad de refuerzo. En el caso de la albañilería armada, la propagación del agrietamiento se ve interrumpida por la presencia de los refuerzos que controlan el ancho de la grieta, de modo que cuando se forma el patrón de agrietamiento los anchos de grietas no superan a 1,0 mm. Este agrietamiento evoluciona en forma importante cuando las escalerillas se cortan, alcanzándose anchos de grietas superiores a 7,0 mm para distorsiones angulares de 5,5 ‰ (posterior a la carga máxima) lo que produce el colapso nominal del sistema.

En los muros de albañilería confinada el agrietamiento diagonal se desarrolla completamente para una distorsión angular del orden de 0,6 ‰, presentando anchos de fisuras entre 0,2 y 0,5 mm, los cuales se mantienen hasta niveles de distorsión angular de un 2,4 ‰.

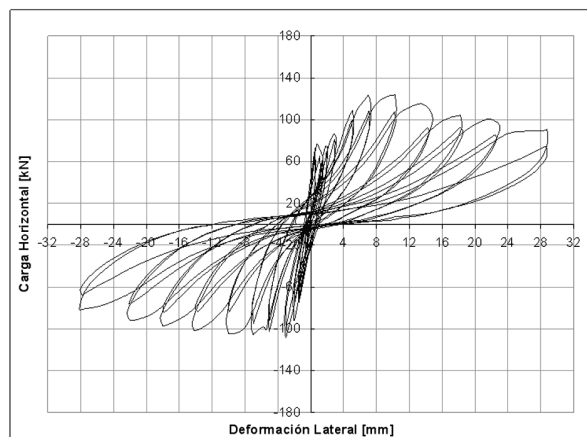
En las Figuras 8 y 9 se muestran los ciclos o lazos de histéresis de cada uno de los muros ensayos, mientras que en la Figura 10 se ha dibujado la envolvente de las ramas positivas y negativas del primer ciclo de cada muro. En estas tres figuras se puede apreciar que las cargas máximas alcanzadas por ambas modalidades de refuerzo son similares. Sin embargo, se aprecia fragilidad en el comportamiento de los muros de albañilería armada debido a la pérdida de la capacidad resistente una vez que se alcanza la carga máxima, producto del corte de las escalerillas y del daño que se produce en la cabeza de compresión. En cambio, en los muros de albañilería confinada, la presencia de los pilares permite mantener el nivel de carga máxima hasta altos niveles de deformación, mientras el agrietamiento diagonal no penetra en los pilares de confinamiento. Cabe destacar que los muros de albañilería confinada alcanzan el nivel de carga máxima para distorsiones o deformaciones

laterales menores que en el caso de los muros de albañilería armada.

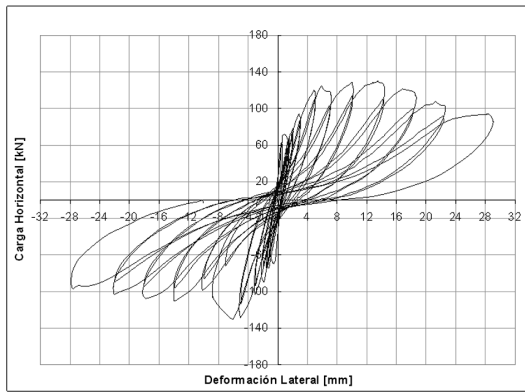
La principal diferencia entre las curvas de histéresis de ambas modalidades de refuerzo radica en la capacidad de recuperación de la deformación, lo que produce ciclos con estrangulamiento en torno al origen cuando las grietas se cierran, como ocurre en los muros de albañilería confinada pero no así en el caso de los muros de albañilería armada.

Por otro lado, los anchos remanentes de grieta que presentan los muros de albañilería confinada una vez finalizado el ensayo (distorsiones angulares del orden de 13‰), son notablemente menores que los producidos en los muros de albañilería armada. En efecto, en estos últimos los anchos remanentes de las grietas principales se encuentran entre 9,0 y 15 mm, en cambio, para los muros de albañilería confinada estos anchos son menores que 7,0 mm. En la Figura 11, se puede apreciar el estado final de los muros de albañilería confinada y armada.

Otra diferencia entre el comportamiento de albañilerías con ambas modalidades de refuerzo, es la capacidad de deformación. En los muros de albañilería armada la capacidad de deformación máxima se produce una vez que se alcanza la carga máxima, es decir para distorsiones angulares del orden de 5,5 y 8,0 ‰, en cambio en los muros de albañilería confinada se pueden alcanzar altas distorsiones angulares sin un deterioro importante de la capacidad resistente y manteniendo la integridad del paño de albañilería (ver Figura 11)

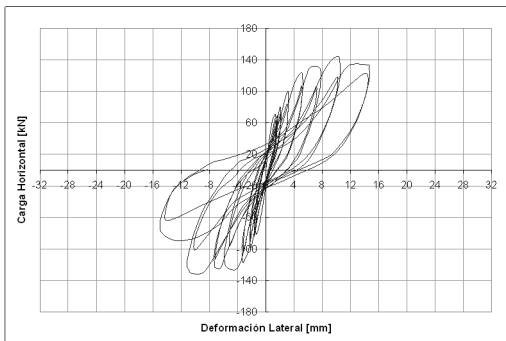


Curva Carga horizontal – Deformación lateral
Albañilería Confinada - Muro 1

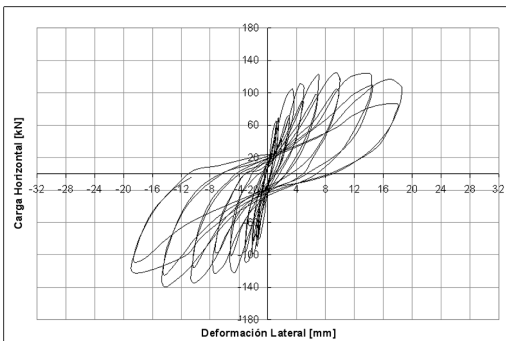


Curva Carga horizontal – Deformación lateral
Albañilería Confinada - Muro 2

Figura 8. Curvas de histéresis Muros albañilería Confinada



Curva Carga horizontal – Deformación lateral
Albañilería Armada - Muro 1



Curva Carga horizontal – Deformación lateral
Albañilería Armada - Muro 2

Figura 9. Curvas de histéresis Muros albañilería Armada

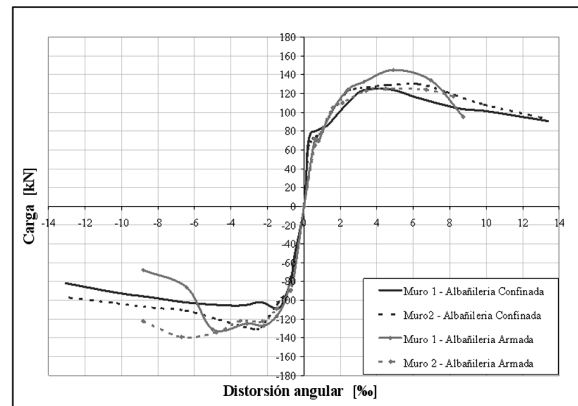
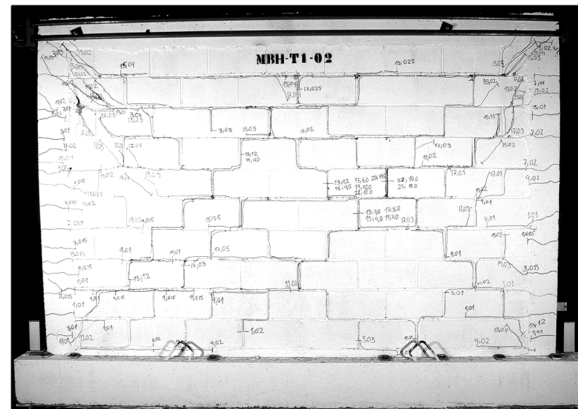
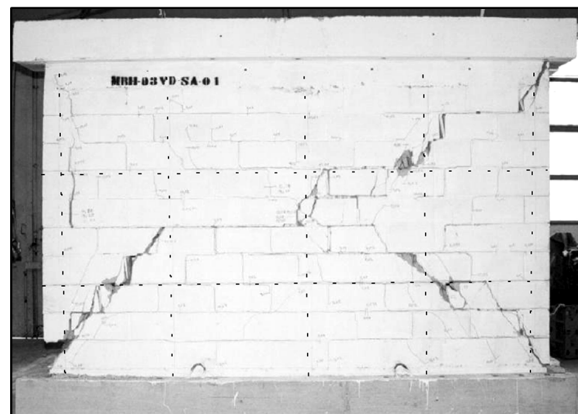


Figura 10. Envolturas del primer ciclo de histéresis



a) Muro albañilería confinada (distorsión = 13,2%)



b) Muro de albañilería armada (distorsión = 6,5%)

Figura 11. Estado final de daños

3.2. Comparación de resultados

3.2.1. Capacidad de carga máxima

En la Tabla 5 se entregan las cargas máximas aplicadas sobre los muros, apreciándose que éstas son prácticamente independientes de la modalidad de refuerzo

para los casos estudiados. Es conveniente destacar que los muros de albañilería armada alcanzaron niveles levemente mayores de carga máxima, un 12 %, a pesar que las propiedades índices de la albañilería fueron menores.

Tabla 5. Carga máxima

Modalidad de refuerzo	Carga máxima	
	Muro 1 [kN]	Muro 2 [kN]
Albañilería Confinada	124	130
Albañilería Armada	145	140

3.2.2. Rigidez

En la Tabla 6 se detalla la rigidez no agrietada o rigidez elástica K_e de ambos tipos de muros. Esta rigidez corresponde a la pendiente de la recta secante que une el origen con el punto asociado a la carga máxima aplicada en el primer ciclo positivo de deformación, es decir antes que se produzca la fisuración horizontal del paño de albañilería. De los valores de la Tabla 6 se aprecia que los muros de albañilería confinada son más rígidos, principalmente debido a la presencia de los pilares de confinamiento y en parte a las diferentes propiedades mecánicas de la albañilería.

Tabla 6. Rigidez no agrietada

Modalidad de refuerzo	Rigidez no agrietada o elástica K_e	
	Muro 1 [kN/mm]	Muro 2 [kN/mm]
Albañilería Confinada	142	123
Albañilería Armada	77	85

Para cuantificar el deterioro que se produce en la rigidez de los muros una vez que se inicia el agrietamiento, en la Figura 12 se ha graficado como varía la rigidez de ciclo con la distorsión angular. La rigidez de ciclo se define como la pendiente de la recta secante que une los puntos de máxima y mínima deformación (puntos extremos) del primer ciclo asociado a cada nivel de deformación aplicado. En este gráfico la rigidez de ciclo ha sido normalizada respecto de la rigidez elástica de cada uno de los muros y se representan a partir del segundo nivel de deformación aplicado.

En las curvas se puede apreciar que la rigidez de ciclo se degrada rápidamente una vez que se producen los primeros estados de daños en el muro (primer agrietamiento y inicio del agrietamiento diagonal). Además se aprecia que para los muros de albañilería confinada la caída de rigidez (pérdida del 50 % de la rigidez elástica) es mucho mayor que en los muros de albañilería armada

(pérdida del 30 % de la rigidez elástica), debido a que el estado de agrietamiento diagonal se presenta para bajas distorsiones angulares.

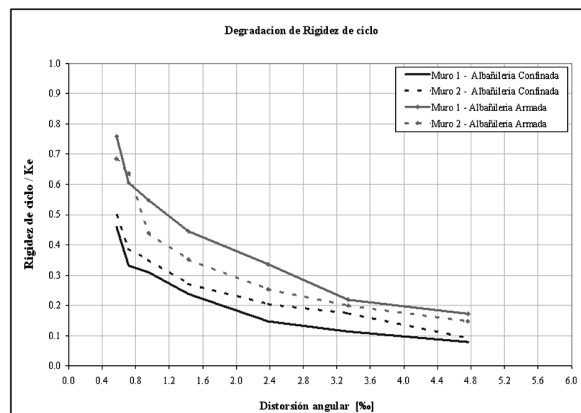


Figura 12. Degradación de rigidez de ciclo

3.2.3. Capacidad de deformación

La capacidad de deformación de los muros se analiza a partir de las distorsiones angulares o deformaciones laterales asociadas con un determinado estado de daño. En la Tabla 7 se presenta la menor distorsión angular y el ancho de grieta promedio asociado a los estados de daños siguientes:

- Primer daño visible en el paño (PDV): Corresponde a la aparición de las primeras fisuras visibles a simple vista en el paño del muro.
- Inicio del agrietamiento inclinado (IAI): Corresponde a la formación de la primera grieta inclinada en la albañilería que abarca por lo menos tres hiladas.
- Formación del patrón de agrietamiento (FPA): Corresponde al estado en que se visualiza el patrón de agrietamiento que se mantendrá hasta el final del ensayo y que define el mecanismo de falla del muro.
- Carga máxima (CM): Corresponde al estado cuando el muro alcanza la carga máxima
- Estado último de deformación (EUD): corresponde al estado de daños en el muro en el instante en que se manifiesta una pérdida considerable de su capacidad resistente, de modo que en el siguiente ciclo la carga máxima registrada es menor que un 70% de resistencia máxima alcanzada en ese sentido de carga.

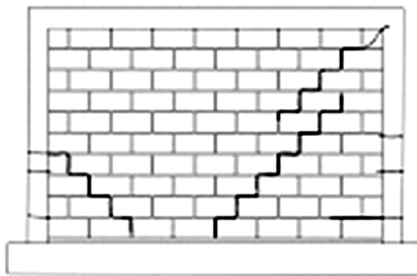
Tabla 7. Distorsión angular y ancho de grieta para diferentes estados de daños

Modalidad de refuerzo	Distorsión Angular [%] - Ancho de grieta promedio [mm]				
	PDV	IAI	FPA	CM	EUD
Albañilería Confinada	0,2 - 0,2	0,2 - 0,2	2,4 - 1,0	1,4 - 3,0	13,1 - 11,0
Albañilería Armada	0,3 - 0,25	1,0 - 0,2	1,9 - 0,8	4,4 - 4,5	5,5 - 9,0

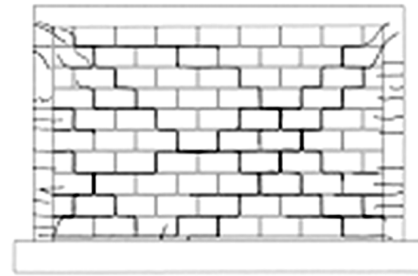
En el caso de los muros de albañilería confinada, la mala adherencia y la ausencia de refuerzo en el paño induce estados de daños de agrietamiento diagonal a menores distorsiones angulares.

En la Figura 13 se presentan los esquemas de agrietamiento característicos de los estados de daños

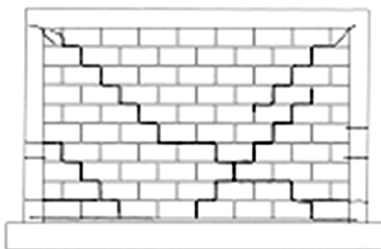
destacados para los muros de albañilería confinada y armada. En ellos se puede apreciar como la presencia de la armadura distribuida contribuye a distribuir el agrietamiento en el paño.



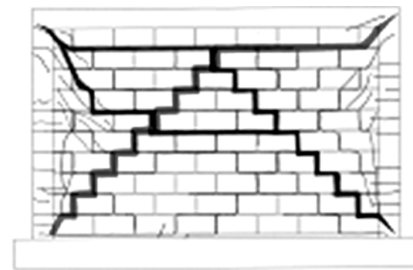
PDV (ciclo 1, distorsión =0,2%)



FPA (ciclo 11, distorsión =2,3%)

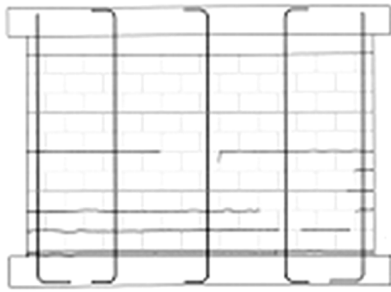


IAI (ciclo 3, distorsión =0,6%)

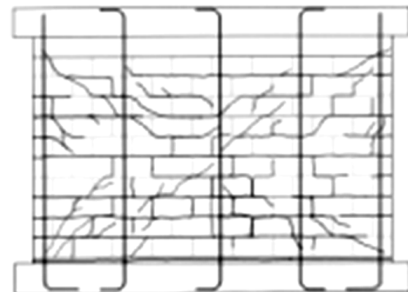


EUD (ciclo 23, distorsión =13,0%)

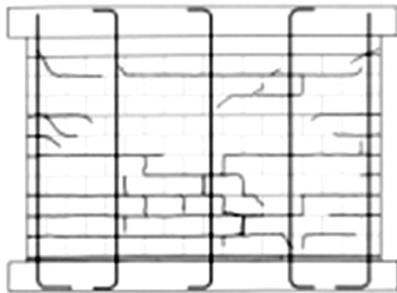
a) Albañilería Confinada – Muro 1



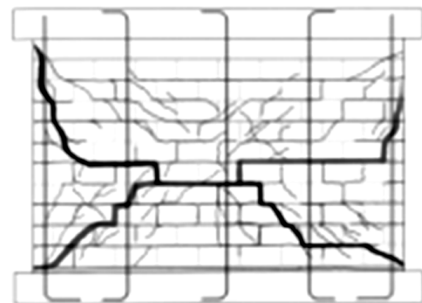
PDV (ciclo 3, distorsión = 0,6‰)



FPA (ciclo 13, distorsión = 3,3‰)



IAI (ciclo 9, distorsión = 1,4‰)



EUD (ciclo 18, distorsión = 6,5‰)

b) Albañilería Armada – Muro 2

Figura 13. Esquemas de agrietamiento

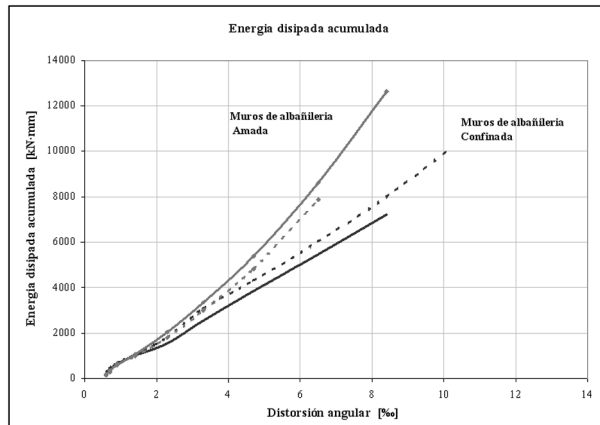


Figura 14. Energía disipada acumulada

3.2.4. Capacidad de disipación de energía

El análisis de la energía disipada se realizó utilizando el concepto de energía disipada acumulada, la que se calcula como la suma del área encerrada por las curvas de histéresis ciclo a ciclo hasta un determinado nivel de deformación. En la Figura 14 se muestra como varía la energía disipada acumulada a cada nivel de deformación aplicado (dos ciclos) en función de la distorsión angular, graficada hasta el nivel de deformación en el cual se produce una pérdida de la capacidad resistente mayor que un 15%.

De la Figura 14 se puede apreciar que para un mismo nivel de distorsión angular los muros de albañilería armada disipan mayor energía (para la misma secuencia de ensayo) que los muros de albañilería confinada y que estos últimos necesitan alcanzar deformaciones mayores para disipar la misma cantidad de energía. Sin embargo, cuando se produce una pérdida de la capacidad resistente mayor que un 15%, ambas modalidades de refuerzo disipan cantidades similares de energía pero con un daño mucho menor en el caso de los muros de albañilería confinada.

4. Conclusiones

Las conclusiones de este trabajo se encuentran limitadas por la calidad de los materiales y por el tipo y cuantía de refuerzo utilizados. De los resultados obtenidos se puede destacar:

- a) La capacidad resistente de los muros ensayados no depende de la modalidad de refuerzo utilizada, lo que confirma que ella está determinada por la capacidad de la albañilería.
- b) Los muros de albañilería confinada resultan más rígidos que los muros de albañilería armada, debido principalmente a la presencia de los pilares de confinamiento. Sin embargo una vez que se producen los primeros daños en la albañilería la rigidez cae fuertemente, llegando a ser un 50% y un 70% de la rigidez elástica en el caso de los muros de albañilería confinada y armada, respectivamente.
- c) La capacidad de deformación se ve favorecida por la presencia de los pilares de confinamiento de hormigón armado. La presencia de estos elementos permite alcanzar altas distorsiones angulares sin un deterioro importante de la capacidad resistente, manteniendo la integridad del paño de albañilería, lo que se traduce menores anchos de grietas.

- d) Una vez que se produce el inicio del daño, la capacidad de disipación de energía es mayor en los muros de albañilería armada para un mismo nivel de deformación pero a costa de sufrir un daño mucho mayor. Desde el punto de vista de la máxima energía disipada, se pudo observar que su valor es similar para ambas modalidades de refuerzo pero el estado de daño que presenta el muro de albañilería armada corresponde a un nivel de daño grave, prácticamente imposible de reparar, producto del corte de las armaduras horizontales y la penetración del agrietamiento diagonal en la cabeza de compresión. Esta situación no se presenta en los muros de albañilería confinada.

Teniendo en cuenta estos resultados experimentales, es recomendable no usar muros de albañilería armada con cuantías de refuerzo reducidas cuando las demandas de desplazamiento produzcan distorsiones angulares en los muros mayores que un 4,0%, ya que se producirán grandes espesores de grietas debido al corte de las escalerillas. Esta situación se ha podido comprobar que ocurre en viviendas de 2 pisos con densidad de muros menores que un 0,8% por unidad de piso. Ejemplo de ello son los daños observados en la ciudad de Ovalle durante el terremoto de Punitaqui de 1997 y en Pozo Almonte en el terremoto de Tarapacá del 2005.

5. Agradecimientos

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento aportado por el Fondo de Desarrollo e Innovación de la CORFO y forma parte del proyecto CORFO-FDI sobre "Desarrollo de Recomendaciones Especiales de Diseño para Viviendas Sociales de 1 y 2 pisos".

Además se agradece la colaboración del personal del laboratorio del Instituto de Investigaciones y Ensayes de Materiales (IDIEM) de la Universidad de Chile, en especial a los Señores Ingenieros Fernando Yañez U. y Víctor Aguila O.

6. Referencias

- INN (1993), Norma Chilena Oficial NCh1928.Of1993: Albañilería armada – Requisitos para el diseño y cálculo, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 51 pp.
- INN (1997), Norma Chilena Oficial NCh2123.Of1997: Albañilería confinada – Requisitos de diseño y cálculo,

Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile,
27 pp.

INN (1965), Norma Chilena Oficial NCh181: Bloques
Huecos de Hormigón de Cemento, Instituto Nacional
de Normalización, Santiago, Chile, 8 pp.

Ogaz O. (2004), "Estudio experimental de muros d
albañilería con aberturas y cuantía reducida de refuerzo
sujetos a carga lateral alternada", Memoria para optar
al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile,
Santiago, Chile, 397 pp.

Sierra G. (2002), "Estudio experimental de la influencia
de refuerzo vertical en muros de albañilería armada
sometidos a carga lateral alternada", Memoria para
optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile,
Santiago, Chile, 327 pp.

