

Comportamiento a cortante de muros de mampostería confinada de concreto celular de autoclave con diferentes escalas

J. L. Varela-Rivera^{1*} , J. Cacep-Rodríguez¹ ,
L. E. Fernández-Baqueiro¹ , J. A. Moreno-Herrera¹ 

*Autor de contacto: vrivera@correo.uady.mx

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v14i2.725>

Recibido: 12/02/2024 | Correcciones recibidas: 03/04/2024 | Aceptado: 24/04/2024 | Publicado: 15/05/2024

RESUMEN

Se presenta un estudio sobre el comportamiento a cortante de muros de mampostería confinada de concreto celular de autoclave (CCA). Se ensayaron cinco muros confinados de CCA a escala reducida sujetos a cargas laterales. Las variables estudiadas fueron el factor de escala geométrica y la relación de aspecto de los muros. Se consideraron escalas 1:2 y 1:3. Con base en el comportamiento de los muros a escala reducida y natural se determinaron factores de escala experimentales. Los factores de escala geométrica existentes se compararon con los correspondientes experimentales. Se concluye que los factores de escala geométrica pueden utilizarse para predecir la resistencia a cortante y resistencia máxima a cortante de los muros con escalas 1:2 y 1:3. Los factores de escala geométrica sólo pueden utilizarse para predecir la rigidez y la distorsión asociados con la resistencia máxima a cortante.

Palabras clave: muros confinados; concreto celular de autoclave; escalamiento; comportamiento a cortante; cargas cíclicas reversibles en el plano.

Citar como: Varela-Rivera, J. L., Cacep-Rodríguez, J., Fernández-Baqueiro, L. E., Moreno-Herrera, J. A. (2024), “Comportamiento a cortante de muros de mampostería confinada de concreto celular de autoclave con diferentes escalas”, Revista ALCONPAT, 14 (2), pp. 157 – 173, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v14i2.725>

¹ Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería: Mérida, Yucatán, MX.

Contribución de cada autor

En este trabajo, el autor Varela-Rivera contribuyó con la conceptualización (30%), la metodología (40%), la supervisión (50%) y el análisis formal (30%) del programa experimental y la redacción del borrador original (50%). El autor Cacep-Rodríguez contribuyó con la conceptualización (30%), la metodología (30%) y el análisis formal (40%) del programa experimental y la redacción del borrador original (50%). El autor Fernández-Baqueiro contribuyó con la conceptualización (20%), la supervisión (25%) y el análisis formal (20%) del programa experimental, y la revisión y edición del borrador original (50%). El autor Moreno-Herrera contribuyó con la conceptualización (20%), la metodología (30%), la supervisión (25%) y el análisis formal (10%) del programa experimental, y la revisión y edición del borrador original (50%).

Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2024) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación.

Cualquier discusión, incluyendo la respuesta de los autores, se publicará en el primer número del año 2025 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2024.

Shear behavior of autoclaved aerated concrete confined masonry walls with different scales

ABSTRACT

An experimental study on the shear behavior of autoclaved aerated concrete (AAC) confined masonry walls is presented. A total of five reduced-scale walls were tested in the laboratory under reverse lateral loads. Variables studied were the geometric scaling factor and the aspect ratio of walls. Scales considered were 1:2 and 1:3. Based on the behavior of the reduced- and corresponding full-scale walls experimental scaling factors were determined. Existing geometric scaling factors were compared with corresponding experimental scaling factors. It was concluded that geometric scaling factors can be used to predict the shear strength and maximum shear strength of walls with scales of 1:2 and 1:3. Geometric scaling factors can only be used to predict stiffness and drift ratios associated with the maximum shear strength of walls.

Keywords: confined walls; autoclaved aerated concrete; scaling; shear behavior; in-plane reverse cyclic loads.

Comportamento ao cisalhamento de paredes de alvenaria confinadas de concreto celular autoclavadas com diferentes escalas

RESUMO

É apresentado um estudo experimental sobre o comportamento ao cisalhamento de paredes de alvenaria confinadas de concreto celular autoclavado (CCA). Cinco paredes confinadas em escala reduzida foram testadas sob cargas laterais. As variáveis estudadas foram o fator escala geométrica e a proporção das paredes. As escalas consideradas foram 1:2 e 1:3. Com base no comportamento das paredes em escala reduzida e real foram determinados fatores de escala experimental. Os fatores de escala geométrica existentes foram comparados com os fatores obtidos experimentalmente. Concluiu-se que fatores de escala geométrica podem ser utilizados para prever a resistência ao cisalhamento e a resistência máxima ao cisalhamento de paredes com escalas de 1:2 e 1:3. Fatores de escala geométrica só podem ser usados para prever a rigidez e a distorção associadas à resistência máxima ao cisalhamento.

Palavras-chave: paredes confinadas; concreto celular autoclavado; escalação; comportamento de cisalhamento; cargas laterais reversas no plano.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6 antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Reserva de derechos para uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, e ISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Pedro Castro Borges, Ph.D. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza de acuerdo con el código COPE y con la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) de la Revista ALCONPAT.

1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras de mampostería son ampliamente utilizadas en la industria de la construcción en muchos países del mundo (Tena-Colunga et al., 2009). Los muros de mampostería confinada se construyen utilizando diferentes tipos de piezas, por ejemplo, tabiques de arcilla, bloques de concreto y bloques de concreto celular de autoclave (CCA), entre otros. Entre los problemas de la industria de la construcción con mampostería se encuentran el control de calidad en la fabricación de bloques y la calidad de la mano de obra durante la construcción de muros. En el primer caso, existen piezas fabricadas con un control de calidad bajo y en ocasiones, piezas fabricadas a mano sin un control de calidad. En el segundo caso, en ocasiones los muros se construyen por trabajadores con poca o nula experiencia. Por otro lado, el mortero utilizado en la construcción de muros de mampostería es tradicionalmente menos resistente que las piezas. Lo anterior resulta en muros con un comportamiento a cortante asociado con agrietamientos en las juntas de la mampostería.

Los muros confinados de CCA se construyen siguiendo los procesos constructivos típicos de la mampostería.; sin embargo, su comportamiento a cortante es similar al observado en un muro monolítico, por ejemplo, un muro de concreto reforzado. Esto se debe al uso de un mortero de pared delgada que proporciona una buena adherencia entre los bloques de CCA. El mortero de pared delgada es más resistente que las piezas de CCA. Las propiedades del mortero de pared delgada se especifican en la norma ASTM C1660 (ASTM C1660, 2018). Las piezas de CCA son fabricadas con un alto control de calidad. Las propiedades del CCA se especifican en la norma ASTM C1693 (ASTM C1693, 2017) y RILEM (Aroni, 1993). En los Estados Unidos de América, existen requisitos para el diseño de muros de CCA no reforzados y reforzados interiormente, pero no se incluyen muros confinados de CCA (TMS 402/602, 2022). En México, existen requisitos para el diseño de muros confinados construidos con piezas de concreto o arcilla, pero no se consideran explícitamente muros confinados de CCA (NTCM, 2020).

Hoy en día es una realidad que existen pocos estudios experimentales sobre el comportamiento de estructuras de mampostería a escala natural sujetas a cargas laterales (Aldemir et al., 2017; Chourasia et al., 2016; Gokmen et al., 2019; Henderson et al., 2003; Seible et al., 1994; Shahzada et al., 2012; Tanner et al., 2005a; Yi et al., 2006). Esto se debe principalmente a limitaciones económicas y de espacio en los laboratorios. Una alternativa ha sido el estudio de estructuras de mampostería a escala reducida; sin embargo, el número de estudios experimentales es aún reducido (Abrams y Paulson, 1991; Alcocer et al., 1999; Benedetti et al., 1998; Henderson et al., 1994; Lourenço et al., 2013; San Bartolomé et al., 2009; Tomažević, 1987; Tomažević y Weiss, 1991; Wu et al., 2017). Otra opción ha sido el estudio de elementos individuales de las estructuras, por ejemplo, los muros de mampostería. En este caso, se existe un mayor número de estudios experimentales realizados por diferentes autores (Bose y Rai, 2014; Pérez-Gavilán et al., 2015; Tena-Colunga et al., 2009; Tomažević et al., 1996; Tomažević y Gams, 2012; Tomažević y Klemenc, 1997; Varela-Rivera et al., 2018; Varela-Rivera et al., 2019; Varela-Rivera et al., 2023; Yu et al., 2013). En dichos estudios se consideraron muros de mampostería a escala natural y reducida. Los muros a escala reducida son importantes para ahorrar materiales y tiempo entre otros. Se realizó una revisión de la literatura para identificar estudios experimentales sobre el comportamiento de estructuras de CCA y muros de CCA sujetos a cargas laterales. Como resultado, se encontraron dos estudios sobre el comportamiento de estructuras de CCA a escala natural (Gokmen et al., 2019; Tanner et al., 2005a). En ambos casos se consideraron estructuras de dos niveles con muros reforzados interiormente. En el primer caso se estudió el comportamiento a cortante de los muros, y en el segundo el comportamiento a flexión. Similarmente, se encontró un estudio sobre el comportamiento de estructuras de CCA a escala reducida (Tomažević y Gams, 2012). Se consideraron estructuras de tres y cuatro niveles con muros reforzados interiormente.

Las estructuras se construyeron con una escala reducida de 1:4. El estudio se enfocó en el comportamiento a cortante de los muros. Por otro lado, se encontraron algunos estudios sobre el comportamiento a flexión y cortante de muros no reforzados, reforzados interiormente, diafragma y confinados de CCA a escala natural (Penna et al., 2018; Ravichandran y Klingner, 2012; Shing et al., 1990; Tanner et al., 2005b; Tomažević y Gams, 2012; Varela-Rivera et al., 2018; Varela-Rivera et al., 2023). En este último caso, se encontraron dos estudios donde se propusieron ecuaciones de diseño para determinar la resistencia a cortante y flexo-cortante de muros confinados de CCA junto con correspondientes recomendaciones de diseño por flexión (Varela-Rivera et al., 2018; Varela-Rivera et al., 2023). Adicionalmente, se encontraron tres estudios sobre el comportamiento a cortante de muros de CCA a escala reducida (Bose y Rai, 2014; Tomažević y Gams, 2012; Zhenggang et al., 2017). En el primer caso se consideraron muros reforzados interiormente, en el segundo y tercer casos muros diafragma. Los muros se construyeron con escalas reducidas de 2:5, 1:2 y 1:4, respectivamente.

Con base en la revisión de la literatura presentada anteriormente se observa que las estructuras de CCA a escala natural y reducida se estudian de forma independiente, es decir, no se compara el comportamiento de las estructuras a escala reducida con el correspondiente a las estructuras a escala natural. Por ejemplo, no se comparan el patrón de agrietamiento, la resistencia, la rigidez y la distorsión de las estructuras de CCA a escala natural y reducida. El comportamiento de estas estructuras debe compararse no sólo en el rango lineal sino también en el rango no lineal. Similarmente, se observa la misma situación para el caso de los muros de CCA; es decir, no se compara el comportamiento de los muros a escala natural y reducida. Además, se observa que no existen estudios experimentales sobre el comportamiento de estructuras de CCA a escala natural o reducida construidas con muros confinados. Sólo se encontraron dos estudios experimentales sobre muros reforzados interiormente de CCA a escala natural (Gokmen et al., 2019; Tanner et al., 2005a). Lo anterior muestra la necesidad de estudiar el comportamiento de estructuras CCA construidas con muros confinados para comprender mejor su comportamiento global bajo cargas laterales. Esto se puede hacer considerando estructuras a escala reducida. Como primer paso, es deseable estudiar sólo el comportamiento de los muros confinados de CCA a escala reducida y comparar los resultados con los obtenidos de los correspondientes muros confinados de CCA a escala natural.

En este estudio se evaluó el comportamiento a cortante de cinco muros confinados de CCA a escala reducida. Los muros se ensayaron bajo cargas laterales en el plano cíclicas reversibles. Se construyeron dos muros a escala 1:2 y tres a escala 1:3. Las variables de estudio fueron el factor de escala geométrica y la relación de aspecto de los muros. Se obtuvieron curvas carga lateral – distorsión para los muros. El comportamiento a cortante de los muros confinados de CCA a escala reducida se comparó con el observado para los muros de CCA a escala natural correspondientes obtenidos de la literatura. Las comparaciones se basaron en el patrón de agrietamiento, la resistencia, la rigidez y la distorsión de los muros confinados de CCA. Estas comparaciones se utilizaron para determinar factores de escala experimentales para los muros a escala reducida estudiados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Muros espécimen y propiedades de materiales

En este estudio se consideraron cinco muros confinados de CCA a escala reducida, dos con una escala 1:2 y tres con una escala 1:3 (Tabla 1). Los muros confinados de CCA a escala natural control fueron estudiados previamente por los autores (Varela-Rivera et al., 2023). Dichos muros se representan en la Tabla 1 con una escala 1:1. La altura (H), la longitud (L) y el espesor (t) de los muros se presentan en la Tabla 1. La altura del muro se consideró hasta el punto de aplicación

de la carga (Figura 1). Las variables de estudio fueron el factor de escala geométrica y la relación de aspecto (H/L) de los muros (Tabla 1). El factor de escala geométrica para la resistencia a cortante se definió como la relación entre el área de la sección transversal gruesa de un muro a escala reducida y la correspondiente de un muro a escala natural. El factor de escala geométrica para la rigidez se definió como la relación entre el parámetro $(I/H^3 + A/H)$ de un muro a escala reducida y el correspondiente de un muro a escala natural, donde I es el momento de inercia de la sección transversal gruesa del muro. En dicho parámetro se incluyen deformaciones por flexión y cortante. El factor de escala geométrica para la distorsión se definió como la relación entre el parámetro $[(I/H^3 + A/H)/H]$ de un muro a escala reducida y el correspondiente de un muro a escala natural.

Se consideró un esfuerzo axial de compresión de 0.29 MPa para los muros. Dicho esfuerzo corresponde a una estructura de CCA de un nivel. En el análisis de cargas gravitacionales se asumió que las estructuras se construyen utilizando muros y losas de CCA. Se consideraron bloques sólidos de CCA para los muros. Para los muros a escala 1:1, las dimensiones de los bloques fueron 0.15 x 0.20 x 0.61 m (espesor x altura x longitud). Para los muros a escalas 1:2 y 1:3, las dimensiones de los bloques se redujeron aproximadamente por un factor de 2 y 3, respectivamente. Las piezas se cortaron utilizando una sierra cinta eléctrica y, en ocasiones, un serrucho de mano como se recomienda para la construcción en CCA.

Tabla 1. Detalles de los muros confinados de CCA.

Muro de CCA	Escala	H (m)	L (m)	t (mm)	H/L
W1-11*	1:1	2.40	1.95	150	1.23
W2-11*	1:1	2.40	1.24	150	1.94
W3-11*	1:1	2.40	0.91	150	2.64
W1-12	1:2	1.20	0.98	75	1.23
W2-12	1:2	1.20	0.62	75	1.94
W1-13	1:3	0.80	0.65	50	1.23
W2-13	1:3	0.80	0.41	50	1.94
W3-13	1:3	0.80	0.30	50	2.64

*Varela-Rivera et al. (2023)

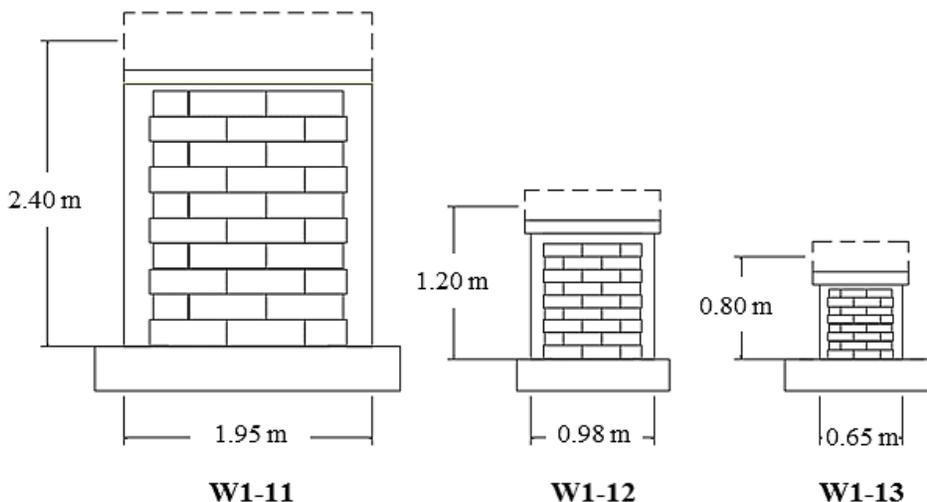


Figura 1. Esquema de los muros confinados de CCA.

El muro W1-11 se diseñó para inducir un agrietamiento por cortante diagonal y los muros W2-11 y W3-11 para inducir un agrietamiento por flexo-cortante (Varela-Rivera et al., 2023). Los muros a escala reducida se diseñaron para inducir un agrietamiento por cortante diagonal. Las dimensiones finales de las secciones transversales (ST) y los detalles del acero de refuerzo de los castillos (EC) de los muros se presentan en la Tabla 2. La altura de la sección transversal de los castillos de los muros a escala 1:2 fue de 110 mm (Tabla 2). Esta altura fue necesaria para inducir el agrietamiento por corte diagonal de los muros. El refuerzo longitudinal (RL) consistió en barras de acero corrugadas con una resistencia de fluencia nominal de 412 MPa. El refuerzo transversal (RT) consistió en barras de acero lisas con una resistencia de fluencia nominal de 248 MPa. Este tipo de acero liso es ampliamente utilizado en México en estructuras de mampostería y concreto reforzado. No se utilizó refuerzo transversal para los muros a escala reducida (Tabla 2). Esto se debió a las dimensiones reducidas de las secciones transversales de los castillos. El tamaño máximo del agregado grueso del concreto de los castillos de los muros a escalas 1:1 y 1:2 fue de 19 mm y 9.52 mm, respectivamente. Para los muros a escala 1:3 se utilizó mortero en lugar de concreto. Las proporciones por volumen del mortero fueron de 1:2 (cemento Portland: arena). La relación de aspecto final de los muros se presenta en la Tabla 1. La resistencia a compresión especificada para el concreto de los castillos de los muros a escala de 1:1 fue de 14.7 MPa. La resistencia a compresión especificada para el concreto y el mortero de los castillos de los muros a escalas 1:2 y 1:3 fue de 19.6 MPa. El cambio en la resistencia a compresión se asoció con el cambio en la resistencia a compresión mínima del concreto especificada en la nueva versión de las Normas Técnicas de Mampostería de la Ciudad de México (NTCM, 2020). Los muros correspondientes con escalas diferentes, por ejemplo, los muros W1-11, W1-12 y W1-13 tuvieron la misma relación de aspecto.

Las propiedades mecánicas del CCA, el mortero de nivelación, el mortero de pared delgada, y el concreto y el mortero de los castillos de los muros se presentan en la Tabla 3. Todas las propiedades se determinaron utilizando muestras de tamaño regular de acuerdo con las especificaciones de las normas ASTM correspondientes (Tabla 3) (ASTM C109, 2021; ASTM C1693, 2017; ASTM C39, 2023). No se consideró ninguna reducción en el tamaño de las muestras correspondientes para los muros a escala reducida.

Tabla 2. Detalles de los castillos de los muros.

Muro de CCA	ST de los EC (mm)	RL	RT
W1-11 (a) W2-11 y W3-11 (b)		4#3	#2@ 200 mm
W1-12 a W2-12		1#4	-
W1-13 (a) W2-13 y W3-13 (b)		1#3	-

Tabla 3. Propiedades de los materiales de los muros.

Propiedad	Muro de CCA	ASTM	Promedio (MPa)	CV
Resistencia a compresión del CCA (f_{CCA})	W1-11 a W3-11	C1693	5.28	0.04
	W1-12 a W2-12		4.69	0.02
	W1-13 a W3-13		5.28	0.04
Resistencia a compresión del mortero de nivelación ($f_{j1.3}$)	W1-11 a W3-11	C109	22.36	0.03
	W1-12 a W2-12		17.92	0.02
	W1-13 a W3-13		14.59	0.05
Resistencia a compresión del mortero de pared delgada (f_{jMPD})	W1-11 a W3-11	C109	17.81	0.02
	W1-12 a W2-12		10.52	0.02
	W1-13 a W3-13		17.81	0.02
Resistencia a compresión del concreto de los castillos (f_c)	W1-11 a W3-11	C39	15.85	0.02
	W1-12 a W2-12		25.10	0.07
Resistencia a compresión del mortero de los castillos ($f_{j1.2}$)	W1-13 a W3-13	C109	23.92	0.02

2.2 Construcción de muros

La construcción de los muros confinados de CCA se realizó por un trabajador experimentado. Los bloques se traslaparon en su longitud media. La primera hilada de bloques se colocó utilizando mortero en proporciones por volumen 1:3 (cemento Portland: arena) y mortero de pared delgada. El primero se utilizó en la junta horizontal de nivelación y el segundo en las juntas verticales. Las hiladas de bloques subsecuentes se colocaron utilizando mortero de pared delgada. El espesor promedio del mortero de nivelación de los muros a escalas 1:1, 1:2 y 1:3 fue de aproximadamente 10 mm, 5 mm y 3.3 mm, respectivamente. El espesor promedio del mortero de pared delgada de los muros a escalas 1:1, 1:2 y 1:3 fue de aproximadamente 3 mm, 2 mm y 2 mm, respectivamente. La construcción de los muros se realizó de la siguiente manera: primero se colocaron las hiladas de bloques y luego se colocó el concreto de los castillos. Finalmente, se colocó el concreto de la cadena superior. Se utilizó un dentado de 25 mm en los bloques extremos de las hiladas impares de los muros a escala 1:1. Este dentado se redujo por un factor de 2 y 3 para los muros a con escalas 1:2 y 1:3, respectivamente. En la Figura 1 se presenta el esquema de los muros W1-11, W1-12 y W1-13.

2.1 Sistema de carga de los muros

Los muros confinados de CCA a escala reducida se ensayaron bajo carga axial constante y cargas laterales incrementales cíclicas reversibles hasta la falla. Las cargas axiales se determinaron utilizando el esfuerzo axial de compresión de 0.29 MPa junto con la longitud y el espesor correspondientes de los muros (Tabla 1). Las cargas laterales se aplicaron utilizando un marco de reacción metálico, una viga carga metálica y un actuador hidráulico de dos vías (Figura 2a). La carga lateral se midió utilizando una celda de carga de tensión-compresión tipo dona. Esta carga se verificó utilizando dos transductores de presión. Los muros se anclaron a una losa de reacción móvil la cual se ancló al piso de reacción del laboratorio. La carga axial se aplicó utilizando una viga balancín, una viga de repartición, dos barras roscadas y un actuador hidráulico (Figura 2b). La presión en el actuador se mantuvo constante durante el ensaye mediante un controlador de presión mecánico (Edison, 1994). La carga axial se midió utilizando dos celdas de carga tipo dona.

Esta carga se verificó utilizando un transductor de presión. Los muros a escala natural fueron ensayados en condiciones similares (Varela-Rivera et al., 2023).

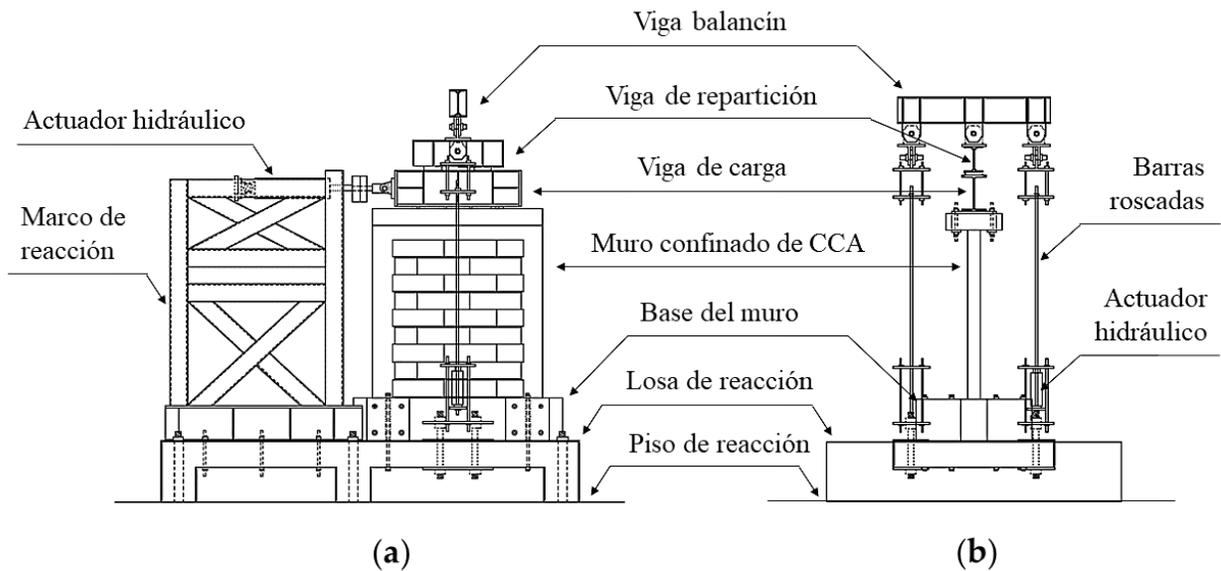


Figura 2. Sistema de carga de los muros. (a) Sistema de carga lateral; (b) Sistema de carga axial.

2.2 Instrumentación y protocolo de carga de los muros

Los desplazamientos horizontales y verticales de los muros a escala reducida se midieron utilizando potenciómetros lineales de polea (PP). Los desplazamientos relativos entre la viga de carga y el muro, el muro y la losa de reacción móvil, y la losa de reacción móvil y el piso de reacción se midieron utilizando potenciómetros lineales de vástago (PL). En la Figura 3 se presenta una vista típica de la instrumentación de los muros. En dicha figura, CCD se refiere a la celda de carga tipo dona. El protocolo de carga utilizado para el ensayo de los muros se basó en el especificado en las Normas Técnicas de Mampostería de la Ciudad de México (NTCM, 2020). Este protocolo tiene cuatro ciclos reversibles iniciales controlados por carga y ciclos posteriores controlados por distorsión. Para los muros a escala natural se utilizaron una instrumentación y un protocolo de carga similares (Varela-Rivera et al., 2023).

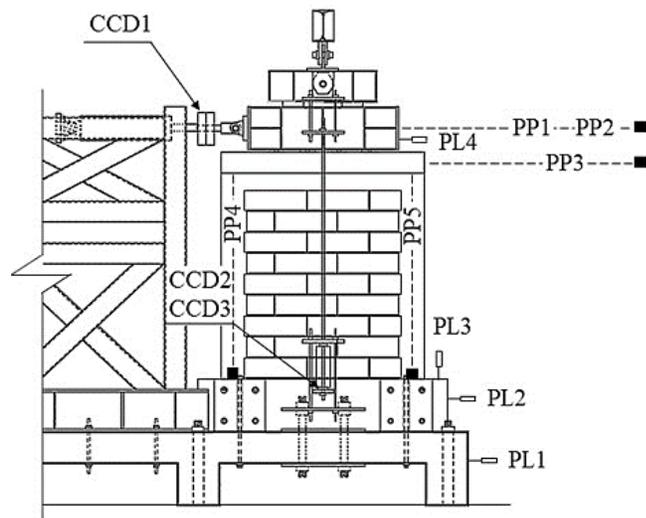


Figura 3. Vista típica de la instrumentación del muro.

3. RESULTADOS

3.1 Propiedades de materiales

Las propiedades mecánicas promedio del CCA, el mortero de nivelación, el mortero de pared delgada, el concreto y el mortero de los castillos de los muros se presentan en la Tabla 3. Los coeficientes de variación (CV) correspondientes se incluyen en dicha tabla. La resistencia a compresión promedio del CCA de los muros a escala 1:2 fue 11% menor que la obtenida para muros a escalas 1:1 y 1:3. Similarmente, la resistencia a compresión promedio del mortero de pared delgada de los muros a escala 1:2 fue 41% menor que la obtenida para muros a escalas 1:1 y 1:3. El CCA y el mortero de pared delgada de los muros a escala 1:2 fueron obtenidos de diferentes fabricantes. El comportamiento a cortante de los muros a escala reducida no se afectó por dichas diferencias en las propiedades, como se describe más adelante.

3.1 Comportamiento global de muros a escala reducida

El comportamiento de los muros a escala 1:2 fue en general similar. El comportamiento se caracterizó por la formación de grietas horizontales por flexión en la parte inferior de los castillos. Posteriormente, se observaron grietas diagonales por cortante en el panel de los muros junto con nuevas grietas por flexión a lo largo de la altura de los castillos. Para el caso del muro W2-12, se observaron grietas por flexo-cortante antes de la formación de grietas diagonales por cortante. Durante el diseño de este muro, se observó que la predicción de las cargas asociadas con ambos tipos de agrietamiento, fueron similares. Al incrementar la distorsión, se observaron nuevas grietas diagonales en el panel del muro, formando el patrón de agrietamiento final tradicional en forma de “X”. La falla de los muros se asoció con la propagación de grietas diagonales por cortante en los extremos de los castillos. El comportamiento de los muros a escala 1:3 fue, en general, similar al observado para el muro W1-12. El patrón de agrietamiento final y el tipo de falla de los muros a escala 1:3 fueron similares a los observados para los muros a escala 1:2. El patrón de agrietamiento de los muros a escala reducida, asociado con la carga lateral máxima, se presenta en la Figura 4. Las curvas carga lateral – distorsión de dichos muros se presentan en la Figura 5.

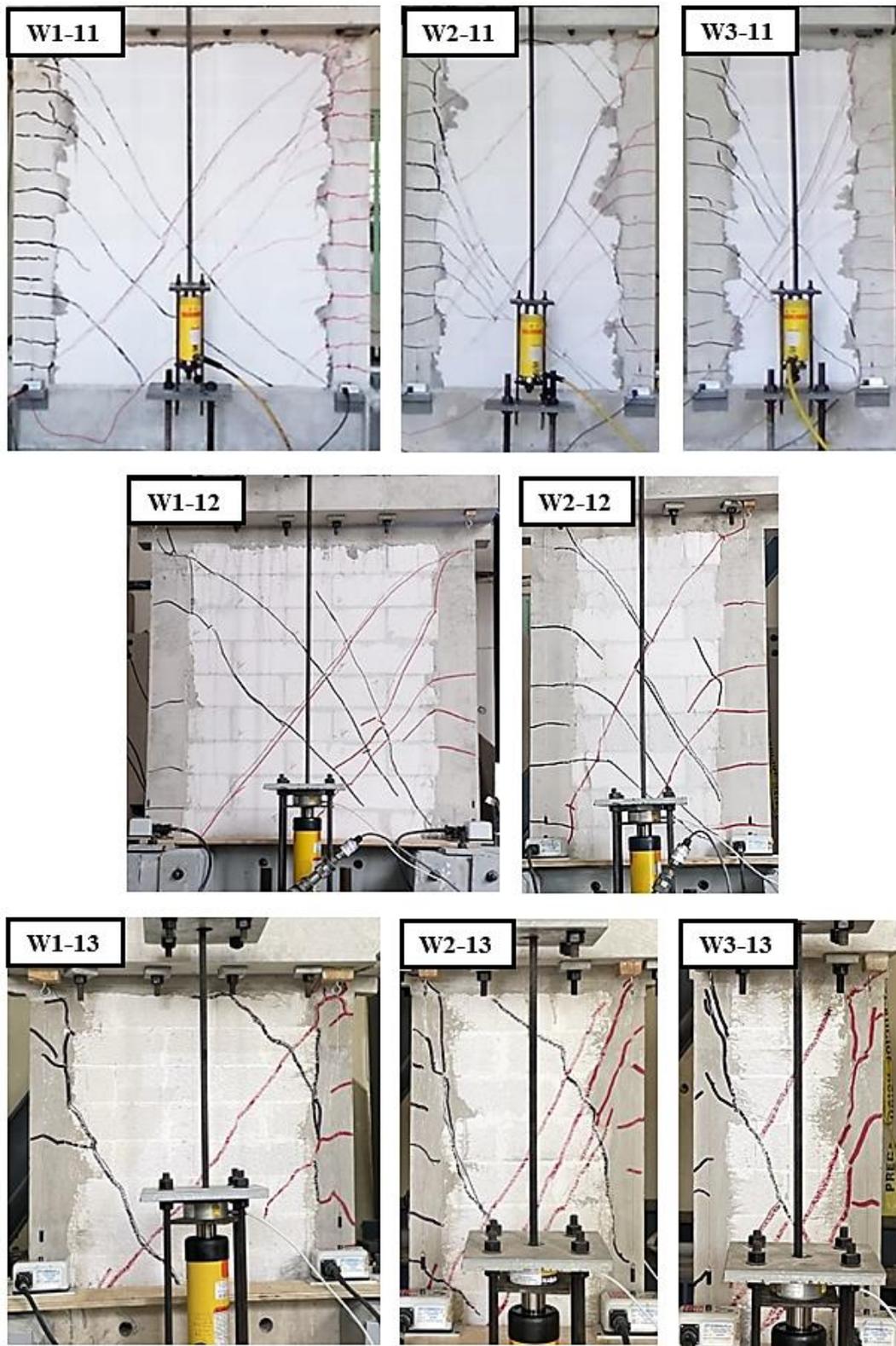


Figura 4. Patrón de agrietamiento de los muros asociado con la carga lateral máxima.

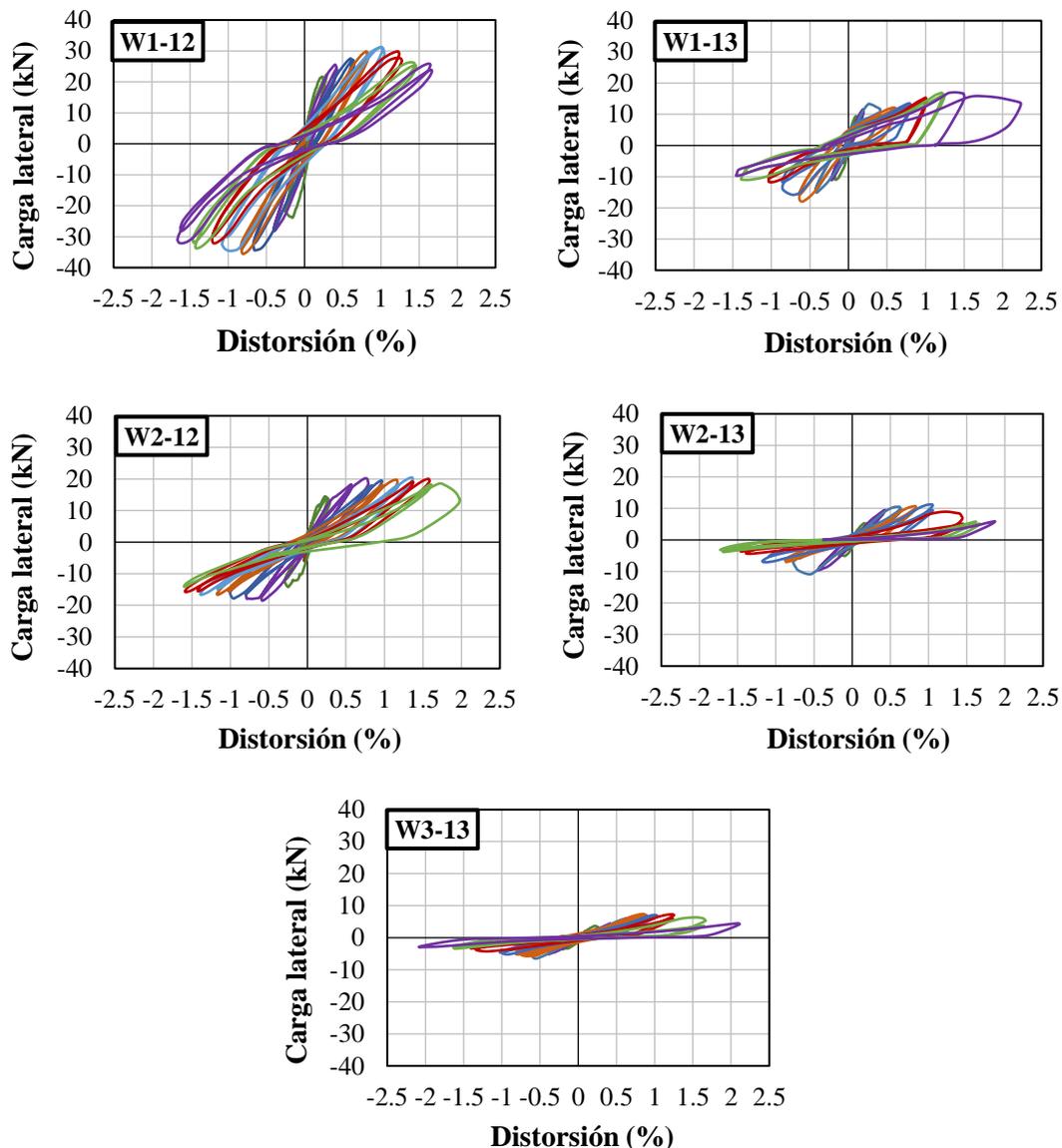


Figura 5. Curvas carga lateral – distorsión de los muros a escala reducida.

4. DISCUSIÓN

4.1 Patrón de agrietamiento de muros con diferentes escalas

El patrón de agrietamiento de los muros a escalas 1:1, 1:2 y 1:3 se presenta en la Figura 4. Dicho patrón se asoció con la carga lateral máxima de los muros en los ciclos de carga positivos. El patrón de agrietamiento de los muros a escalas 1:1, 1:2 y 1:3 fue en general similar (Figura 4). Dicho patrón se caracterizó principalmente por la formación de grietas horizontales por flexión a lo largo de la altura de los castillos y grietas diagonales por cortante en el panel de CCA de los muros. Para el caso de los muros W2-11, W3-11 y W2-12 se observaron algunas grietas por flexo-cortante como se describió anteriormente. Las grietas diagonales observadas en los muros se formaron en las piezas de CCA y no en las juntas, es decir, no se observaron grietas escalonadas. Esto significa que los muros confinados de CCA se comportaron como muros monolíticos. Lo anterior se debió a que el mortero de pared delgada fue más resistente que los bloques de CCA (Tabla 3). Las grietas escalonadas se observan comúnmente en muros confinados construidos con piezas de arcilla o concreto, con un mortero más débil que las piezas. Con base en esta comparación, se observó que

el patrón de agrietamiento de los muros no depende de las escalas geométricas ni de las relaciones de aspecto de los muros estudiados.

4.1 Resistencia a cortante de muros con diferentes escalas

La resistencia a cortante experimental (V_c) de los muros se presenta en la Tabla 4. Dicha resistencia se asoció con el primer agrietamiento por cortante diagonal (CD) o el primer agrietamiento por flexo-cortante (FC). Sólo se consideraron ciclos de carga positivos. La resistencia a cortante máxima experimental (V_m) de los muros se incluye en la Tabla 4. Dicha resistencia se asoció con la carga lateral máxima observada en los ciclos de carga positivos. La resistencia a cortante de los muros con la misma escala aumentó conforme la relación de aspecto disminuyó (Tabla 4). Por ejemplo, la resistencia a cortante del muro W1-13 con una relación de aspecto de 1.23 fue 144 % mayor que la del muro W3-13 con una relación de aspecto de 2.64. Se determinaron factores de escala experimentales para la resistencia a cortante (ER_c) de los muros a escalas 1:2 y 1:3 (Tabla 4). Los factores de escala se calcularon como la relación entre la resistencia a cortante de los muros a escala reducida y la de los muros a escala natural correspondientes. Estos factores de escala están relacionados con el comportamiento lineal de los muros. Similarmente, se determinaron factores de escala experimentales para la resistencia a cortante máxima (ER_m) de los muros a escalas 1:2 y 1:3 (Tabla 4). En este caso, los factores de escala están relacionados con el comportamiento no lineal de los muros. Los valores promedio de ER_c y ER_m para los muros a escala 1:2 fueron 0.27 y 0.24, respectivamente. Similarmente, los valores promedio de ER_c y ER_m para los muros a escala 1:3 fueron 0.10 y 0.13, respectivamente. Para los muros a escalas 1:2 y 1:3, los factores de escala geométrica para la resistencia a cortante (EGR) fueron 0.25 y 0.11, respectivamente (Tabla 4). Se observó que los factores de escala geométricos y experimentales para la resistencia a cortante y resistencia a cortante máxima de los muros fueron similares. La resistencia a cortante de los muros está asociada principalmente con el área de la sección transversal gruesa de los muros, por ejemplo, la longitud y el espesor de los muros.

Tabla 4. Factores de escala experimentales para la resistencia a cortante de los muros.

Muro de CCA	H/L	V_c (kN)	Tipo de grieta	ER_c	ER_c promedio	V_m (kN)	ER_m	ER_m promedio	EGR
W1-11*	1.23	101.40	CD	1	1	140.51	1	1	1
W2-11*	1.94	45.44	FC	1		74.53	1		
W3-11*	2.64	35.53	FC	1		48.08	1		
W1-12	1.23	21.24	CD	0.21	0.27	29.85	0.21	0.24	0.25
W2-12	1.94	14.48	FC	0.32		19.48	0.26		
W1-13	1.23	9.07	CD	0.09	0.10	12.09	0.09	0.13	0.11
W2-13	1.94	5.31	CD	0.12		11.28	0.15		
W3-13	2.64	3.71	CD	0.10		7.30	0.15		

*Varela-Rivera et al. (2023)

4.2 Rigidez de muros con diferentes escalas

La rigidez secante experimental asociada con la resistencia a cortante (K_c) y con la resistencia a cortante máxima (K_m) de los muros se presenta en la Tabla 5. Sólo se consideraron ciclos de carga positivos. Se determinaron factores de escala experimentales para la rigidez secante asociada con la resistencia a cortante (EK_c) y con la resistencia a cortante máxima (EK_m) de los muros a escalas 1:2 y 1:3 (Tabla 5). Los valores promedio de EK_c y EK_m para los muros a escala 1:2 fueron 0.36 y 0.48, respectivamente. Similarmente, los valores promedio de EK_c y EK_m para los muros a escala 1:3 fueron 0.44 y 0.40, respectivamente. Para los muros a escalas 1:2 y 1:3, los factores de escala

geométrica para la rigidez (EGK) fueron 0.50 y 0.33, respectivamente (Tabla 5). Para los muros a escala 1:2 el factor de escala geométrica para la rigidez fue mayor que EK_c y similar a EK_m (Tabla 5). Con base en lo anterior, se observa que K_c se sobreestimó y K_m se predijo bien con los factores de escala geométrica. Para los muros a escala 1:3, el factor de escala geométrica para la rigidez fue menor que EK_c y EK_m (Tabla 5). Con base en lo anterior, se observa que K_c y K_m se subestimaron con los factores de escala geométrica. Los factores de escala experimentales para la rigidez incluyen la contribución del acero de refuerzo, del concreto de los castillos y del panel de CCA de los muros. Lo anterior se considera generalmente utilizando las propiedades de la sección transversal transformada de los muros; sin embargo, los factores de escala geométrica para la rigidez se calcularon utilizando las propiedades de la sección transversal gruesa de los muros.

Tabla 5. Factores de escala experimentales para la rigidez de los muros.

Muro de CCA	H/L	K_c (kN/cm)	EK_c	EK_c promedio	K_m (kN/cm)	EK_m	EK_m promedio	EGK
W1-11*	1.23	297.86	1	1	77.34	1	1	1
W2-11*	1.94	126.33	1		30.58	1		
W3-11*	2.64	41.28	1		16.59	1		
W1-12	1.23	87.63	0.29	0.36	30.68	0.40	0.48	0.50
W2-12	1.94	53.64	0.42		16.96	0.55		
W1-13	1.23	135.56	0.46	0.44	25.22	0.33	0.40	0.33
W2-13	1.94	42.61	0.34		13.51	0.44		
W3-13	2.64	21.66	0.52		7.38	0.44		

*Varela-Rivera et al. (2023)

4.3 Distorsión de muros con diferentes escalas

La distorsión experimental asociada con la resistencia a cortante (δ_c) y con la resistencia a cortante máxima (δ_m) de los muros se presenta en la Tabla 6. Sólo se consideraron ciclos de carga positivos. La distorsión de los muros con la misma escala aumentó conforme la relación de aspecto aumentó (Tabla 6). Por ejemplo, la distorsión del muro W3-13 con una relación de aspecto de 2.64 fue 163% mayor que la del muro W1-13 con una relación de aspecto de 1.23. Se determinaron factores de escala experimentales para la distorsión asociada con la resistencia a cortante ($E\delta_c$) y con la resistencia a cortante máxima ($E\delta_m$) de los muros a escalas 1:2 y 1:3 (Tabla 6). Los valores promedio de $E\delta_c$ y $E\delta_m$ para los muros a escalas 1:2 fueron 1.46 y 1.01, respectivamente. Similarmente, los valores promedio de $E\delta_c$ y $E\delta_m$ para los muros a escalas 1:3 fueron 0.74 y 0.95, respectivamente. Para los muros a escalas 1:2 y 1:3, los factores de escala geométrica para la distorsión ($EG\delta$) fueron ambos 1.0 (Tabla 6). Con base en lo anterior, se observa que para los muros a escala 1:2, el factor de escala geométrica para la distorsión fue menor que $E\delta_c$ y similar a $E\delta_m$. Para los muros a escala 1:3, el factor de escala geométrica fue mayor que $E\delta_c$ y $E\delta_m$. Lo anterior se asoció con las mismas razones descritas anteriormente para los factores de escala experimentales para la rigidez.

Tabla 6. Factores de escala experimentales para la distorsión de los muros.

Muro de CCA	H/L	δ_c (%)	$E\delta_c$	$E\delta_c$ promedio	δ_m (%)	$E\delta_m$	$E\delta_m$ promedio	EG δ
W1-11*	1.23	0.14	1	1	0.76	1	1	1
W2-11*	1.94	0.15	1		1.02	1		
W3-11*	2.64	0.36	1		1.21	1		
W1-12	1.23	0.20	1.42	1.46	0.81	1.07	1.01	1
W2-12	1.94	0.22	1.50		0.96	0.94		
W1-13	1.23	0.08	0.59	0.74	0.60	0.79	0.95	1
W2-13	1.94	0.16	1.04		1.04	1.03		
W3-13	2.64	0.21	0.60		1.24	1.02		

*Varela-Rivera et al. (2023)

5. CONCLUSIONES

Se evaluó el comportamiento a cortante de cinco muros confinados de CCA a escalas reducidas 1:2 y 1:3. El comportamiento de los muros confinados de CCA a escala reducida se comparó con el de los muros confinados de CCA a escala natural correspondientes obtenidos de Varela-Rivera et al. (2023). Con base en las comparaciones correspondientes, se presentan las siguientes conclusiones:

1. El patrón de agrietamiento de los muros a escalas 1:1, 1:2 y 1:3 fue en general similar. Dicho patrón se caracterizó principalmente por la formación de grietas horizontales por flexión a lo largo de la altura de los castillos y grietas diagonales por cortante en el panel de CCA de los muros. Lo anterior indica que el patrón de agrietamiento de los muros no depende de las escalas geométricas ni de las relaciones de aspecto de los muros estudiadas.
2. Para los muros a escalas 1:2 y 1:3, los factores de escala geométrica para la resistencia a cortante y resistencia a cortante máxima fueron similares a los factores de escala experimentales correspondientes. Lo anterior indica que la resistencia a cortante y la resistencia a cortante máxima de los muros a escalas 1:2 y 1:3 se pueden predecir utilizando factores de escala geométrica.
3. Para los muros a escala 1:2, el factor de escala geométrica para la rigidez fue mayor que el observado para la resistencia a cortante, pero fue similar al observado para la resistencia a cortante máxima. Para muros los a escala 1:3, el factor de escala geométrica para la rigidez fue menor que los observados para la resistencia a cortante y la resistencia a cortante máxima. Los factores de escala geométrica se pueden utilizar para predecir la rigidez asociada con la resistencia a cortante máxima de los muros a escala 1:2; sin embargo, no se recomiendan para los muros a escala 1:3.
4. Para los muros a escala 1:2, el factor de escala geométrica para la distorsión fue menor que el observado para la resistencia a cortante, pero fue similar al observado para la resistencia a cortante máxima. Para los muros a escala 1:3, el factor de escala geométrica fue mayor que los observados para la resistencia a cortante y resistencia a cortante máxima. No se recomiendan factores de escala geométrica para predecir la distorsión asociada con la resistencia a cortante de los muros a escalas 1:2 y 1:3. Los factores de escala geométrica se pueden utilizar para predecir la distorsión asociada con la resistencia a cortante máxima de los muros a escalas 1:2 y 1:3.

6. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), número de proyecto: 288718. El CCA fue proporcionado por Aircrete México y Litecrete México. El segundo autor recibió una beca del CONAHCYT. Los autores agradecen el trabajo realizado por los siguientes exalumnos de posgrado: Eduardo Ricalde-Canto y Edwin Sánchez-Dorantes.

7. REFERENCIAS

- Abrams, D., Paulson T. J. (1991), *Modeling Earthquake Response of Concrete Masonry Building Structures*. ACI Struct. J. 88(4):475-485. <https://doi.org/10.14359/3093>
- Alcocer, S. M., Murià-Vila, D., Peña-Pedroza, J. I. (1999). “Comportamiento dinámico de muros de mampostería confinada” en: Series del Instituto de Ingeniería, 616, UNAM: Ciudad de México, México. (en español).
- Aldemir, A., Binici, B., Canbay, E., Yakut, A. (2017), *Lateral load testing of an existing two-story masonry building up to near collapse*. B. Earthq. Eng. 15(8):3365-3383. <https://doi.org/10.1007/s10518-015-9821-3>
- Aroni, S., de Groot, G. J., Robinson, M. J., Svanholm, G., Wittman, F. H. (1993), “*Autoclaved Aerated Concrete: Properties, Testing, and Design: RILEM Recommended Practice*”. 1ra. ed., E & FN Spon: Londres, UK.
- ASTM Internacional. (2017). *ASTM C1693/C1693-11: Standard Specification for Autoclaved Aerated Concrete (AAC)*. West Conshohocken, PA, EUA. <https://doi.org/10.1520/C1693-11R17>
- ASTM Internacional. (2021). *ASTM C109/C109M-21: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2 - in. or [50 - mm] Cube Specimens)*. West Conshohocken, PA, EUA. https://doi.org/10.1520/C0109_C0109M-21
- ASTM Internacional. (2023). *ASTM C39/C39M-23: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. West Conshohocken, PA, EUA. https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-23
- Benedetti, D., Carydis, P., Pezzoli, P. (1998), *Shaking table tests on 24 simple masonry buildings*. Earthq. Eng. Struct. D. 27(1):67-90. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199801\)27:1<67::AID-EQE719>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199801)27:1<67::AID-EQE719>3.0.CO;2-K)
- Bose, S., Rai, D. C. (2014). “*Behavior of AAC Infilled RC Frame Under Lateral Loading*” en: Proceedings of the 10th National Conference in Earthquake Engineering, Anchorage, Alaska.
- Chourasia, A., Bhattacharyya, S. K., Bhandari, N. M., Bhargava, P. (2016), *Seismic Performance of Different Masonry Buildings: Full-Scale Experimental Study*. J. Perform. Constr. Fac. 30(5):1-12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000850](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000850)
- Edison Hydraulic Load Maintainers (1994), “*Operation and Maintenance Manual*”. Edison Hydraulic Load Maintainers, Paradise, CA, EUA.
- Gokmen, F., Binici, B., Aldemir, A., Taghipour, A., Canbay, E. (2019), *Seismic behavior of autoclaved aerated concrete low-rise buildings with reinforced wall panels*. B. Earthq. Eng. 17(7):3933-3957. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00630-3>
- Henderson, R. C., Fricke, K. E., Jones, W. D., Beavers, J. E., Bennett, R. M. (2003), *Summary of a Large- and Small-Scale Unreinforced Masonry Infill Test Program*. J. Struct. Eng., 129(12):1667-1675. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2003\)129:12\(1667\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:12(1667))
- Lourenço, P. B., Avila, L., Vasconcelos, G., Alves, J. P., Mendes, N., Costa, A. C. (2013), *Experimental investigation on the seismic performance of masonry buildings using shaking table testing*. B. Earthq. Eng. 11:1157-1190. <https://doi.org/10.1007/s10518-012-9410-7>

- Normas Técnicas Complementarias. (2020). *NTCM: Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería* (en español). Ciudad de México, México.
- Penna, A., Magenes, G., Calvi, G. M., Costa, A. A. (2008). “*Seismic Performance of AAC Infill and Bearing Walls with Different Reinforcement Solutions*” en: *Proceedings of the 14th International Brick and Block Masonry Conference*, Sidney, Australia.
- Pérez-Gavilán, J. J., Flores, L. E., Alcocer, S. M. (2015), *An Experimental Study of Confined Masonry Walls with Varying Aspect Ratios*. *Earthq. Spectra*. 31(2):945-968. <https://doi.org/10.1193/090712eqs284m>
- Ravichandran, S. S., Klingner, R. E. (2012), *Behavior of Steel Moment Frames with Autoclaved Aerated Concrete Infills*. *ACI Struct. J*. 109(1):83-90. <https://doi.org/10.14359/51683497>
- Rosado-Gruintal, A. I. (2014). *Desempeño elástico y plástico del concreto fabricado con agregados reciclados de origen calizo de residuos de demolición*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Yucatán. (en español).
- San Bartolomé, A., Delgado, E., Quiun, D. (2009). “*Seismic behavior of a two-story model of confined adobe masonry*” en: *Proceedings of the 11th Canadian Symposium*, Toronto, Ontario, Canadá.
- Shahzada, K., Khan, A. N., Elnashai, A. S., Ashraf, M., Javed, M., Naseer, A., Alam, B. (2012), *Experimental Seismic Performance Evaluation of Unreinforced Brick Masonry Buildings*. *Earthq. Spectra*. 28(3):1269-1290. <https://doi.org/10.1193/1.4000073>
- Seible, F., Priestley, M. J. N., Kingsley, G. R., Kürkchübasche, A. G. (1994), *Seismic Response of Full-Scale Five-Story Reinforced Masonry Building*. *J. Struct. Eng*. 120(3):925-946. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1994\)120:3\(925\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1994)120:3(925))
- Shing, P. B., Schuller, M., Hoskere, V. S. (1990), *In-Plane Resistance of Reinforced Masonry Shear Walls*. *J. Struct. Eng*. 116(3):619-640. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1990\)116:3\(619\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1990)116:3(619))
- Tanner, J. E., Varela-Rivera, J. L., Klinger, R. E. (2005), *Design and Seismic Testing of Two-Story, Full Scale Autoclaved Aerated Concrete Assemblage Specimen*. *ACI Struct. J*. 102(1):114-119. <https://doi.org/10.14359/13536>
- Tanner, J. E., Varela-Rivera, J. L., Klinger, R. E., Brightman, M. J. (2005), *Seismic Testing of Autoclaved Aerated Concrete Shear-Walls: A Comprehensive Review*. *ACI Struct. J*. 102(3):374-382. <https://doi.org/10.14359/14408>
- Tena-Colunga, A., Juárez-Ángeles, A., Salinas-Vallejo, V. H. (2009), *Cyclic Behavior of Combined and Confined Masonry Walls*. *Eng. Struct*. 31(1):240-259. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.08.015>
- The Masonry Society. (2022). *TMS 402/602-22: Building Code Requirements and Specifications for Masonry Structures (Formerly ACI 530)*. Longmont, CO.
- Tomaževič, M. (1987), *Dynamic modelling of masonry buildings: Storey mechanism model as a simple alternative*. *Earthq. Eng. Struct. D*. 15(6):731-749. <https://doi.org/10.1002/eqe.4290150606>
- Tomaževič, M., Gams, M. (2012), *Shaking Table Study and Modelling of Seismic Behavior of Confined AAC Masonry Buildings*. *B. Earthq. Eng*. 10(3):863-893. <https://doi.org/10.1007/s10518-011-9331-x>
- Tomaževič, M., Klemenc, I. (1997), *Seismic behavior of confined masonry walls*. *Earthq. Eng. Struct. D*. 26(10):1059-1071. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199710\)26:10<1059::AID-EQE694>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199710)26:10<1059::AID-EQE694>3.0.CO;2-M)
- Tomaževič, M., Lutman, M., Petkovic, L. (1996), *Seismic Behavior of Masonry Walls: Experimental Simulation*. *J. Struct. Eng*. 122(9):1040-1047. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1996\)122:9\(1040\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1996)122:9(1040))

- Tomažević, M., Weiss, P. (1991). “*Seismic behavior of masonry buildings: reinforced versus unreinforced masonry*” en: Proceedings of the 9th International Brick and Block Masonry Conference, Berlín, Alemania, pp. 552-559.
- Varela-Rivera, J. L., Fernández-Baqueiro, L., Alcocer-Canché, R., Ricalde-Jiménez, J., Chim-May, R. (2018), *Shear and Flexural Behavior of Autoclaved Aerated Concrete Confined Masonry Walls*. ACI Struct. J. 115(5):1453-1462. <https://doi.org/10.14359/51706828>
- Varela-Rivera, J. L., Fernández-Baqueiro, L., Gamboa-Villegas, J., Prieto-Coyoc, A., Moreno-Herrera, J. (2019), *Flexural Behavior of Confined Masonry Walls Subjected to In-Plane Lateral Loads*. Earthq. Spectra. 35(1):405-422. <https://doi.org/10.1193/112017eqs239m>
- Varela-Rivera, J. L., Fernández-Baqueiro, L., Moreno-Herrera, J. (2023), *Shear and Flexure-Shear Strengths of Autoclaved Aerated Concrete Confined Masonry Walls*. ACI Struct. J. 120(3):207-215. <https://doi.org/10.14359/51738511>
- Wu, F., Wang, H. T., Li, G., Jia, J. Q., Li, H. N. (2017), *Seismic performance of traditional adobe masonry walls subjected to in-plane cyclic loading*. Mater. Struct. 50(69):1-14. <https://doi.org/10.1617/s11527-016-0927-0>
- Yi, T., Moon, F. L., Leon, R. T., Kahn, L. F. (2006), *Lateral Load Tests on a Two-Story Unreinforced Masonry Building*. J. Struct. Eng. 132(5):643-652. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2006\)132:5\(643\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2006)132:5(643))
- Yu, J., Cao, J., Fei, T. (2013), *Experimental Study on Improving Seismic Behavior of Load-Bearing Masonry Wall Made of Autoclaved Aerated Concrete*. Trans. Tianjin Univ. 19(6):419-424. <https://doi.org/10.1007/s12209-013-2121-6>
- Zhenggang, C., Peng, D., Feng, F., Ming, F. (2017), *Cyclic testing and parametric analyses of the fabricated steel frames infilled with autoclaved aerated concrete panels*. Adv. Struct. Eng. 20(4):629-640. <https://doi.org/10.1177/1369433216659288>