





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

J. L. Varela-Rivera^{1*} , J. Cacep-Rodriguez¹ ,
L. E. Fernandez-Baqueiro¹ , J. A. Moreno-Herrera¹ 

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

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

Recebido: 12/02/24 | Correções recebidas: 03/04/2024 | Aceito: 23/04/2024 | Publicado: 17/05/2024

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.

Citar como: Varela-Rivera, J. L., Cacep-Rodríguez, J., Fernández-Baqueiro, L. E., Moreno-Herrera, J. A. (2024), “Comportamento ao cisalhamento de paredes de alvenaria confinadas de concreto celular autoclavadas com 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.

Contribuição de cada autor

Neste trabalho, o autor Varela-Rivera contribuiu com a conceituação (30%), a metodologia (40%), a supervisão (50%) e a análise formal (30%) do programa experimental e a redação do rascunho original (50%). O autor Cacep-Rodríguez contribuiu com a conceituação (30%), a metodologia (30%) e a análise formal (40%) do programa experimental e a redação do rascunho original (50%). A autora Fernández-Baqueiro contribuiu com a conceituação (20%), supervisão (25%) e análise formal (20%) do programa experimental, e com a revisão e edição da versão original (50%). O autor Moreno-Herrera contribuiu com a conceituação (20%), metodologia (30%), supervisão (25%) e análise formal (10%) do programa experimental, e a revisão e edição do rascunho original (50%).

Licença Creative Commons

Copyright (2024) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no primeiro número do ano 2025, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do terceiro número do ano de 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.

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

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.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de alvenaria são amplamente utilizadas na indústria da construção em muitos países ao redor do mundo (Tena-Colunga et al., 2009). Paredes de alvenaria confinada são construídas com diferentes materiais, por exemplo, tijolos de argila, blocos de concreto e blocos de concreto celular autoclavado (CCA), entre outros. Os problemas na indústria da construção em alvenaria incluem o controle de qualidade na fabricação de blocos e a qualidade do acabamento durante a construção de paredes. No primeiro caso, há peças fabricadas com baixo controle de qualidade e, por vezes, peças fabricadas artesanalmente sem controle de qualidade. No segundo caso, as paredes são por vezes construídas por trabalhadores com pouca ou nenhuma experiência. Por outro lado, a argamassa utilizada na construção de paredes de alvenaria é tradicionalmente menos resistente que as peças. O anterior resulta em paredes com comportamento ao corte associado a fissuras nas juntas de alvenaria.

As paredes confinadas de CCA são construídas seguindo processos típicos de construção em alvenaria; contudo, o seu comportamento ao cisalhamento é semelhante ao observado numa parede monolítica, por exemplo, uma parede de concreto armado. Isso se deve à utilização de uma argamassa de espessura fina que proporciona boa aderência entre os blocos de CCA. A argamassa de espessura fina é mais resistente do que as peças CCA. As propriedades da argamassa de espessura fina são especificadas na ASTM C1660 (ASTM C1660, 2018). As peças de CCA são fabricadas com alto controle de qualidade. As propriedades do CCA são especificadas na norma ASTM C1693 (ASTM C1693, 2017) e RILEM (Aroni, 1993). Nos Estados Unidos da América, existem requisitos para o dimensionamento de paredes de CCA não reforçadas e reforçadas internamente, mas as paredes de CCA confinadas não estão incluídas (TMS 402/602, 2022). No México, existem requisitos para o projeto de paredes confinadas construídas com blocos de concreto ou cerâmica (argila), mas as paredes de CCA não são explicitamente consideradas confinadas (NTCM, 2020).

Hoje em dia é uma realidade que existem poucos estudos experimentais sobre o comportamento de estruturas de alvenaria à escala real submetidas a cargas laterais (Aldemir et al., 2017; Chourasia et al., 2016; Gokmen et al., 2019; Henderson et al., 2019; Henderson et al., 2003; isto se deve principalmente a limitações econômicas e de espaço nos laboratórios. Uma alternativa tem sido o estudo de estruturas de alvenaria de pequena escala. No entanto, o número de estudos experimentais ainda é pequeno (Abrams e 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; outra opção tem sido o estudo de elementos individuais das estruturas, por exemplo, paredes de alvenaria. Neste caso, há um maior número de estudos experimentais realizados por diferentes autores (Bose e Rai, 2014; Pérez-Gavilán et al., 2015; Tena-Colunga et al., 2009; Tomažević et al., 1996; Tomažević e Gams, 2012; nestes estudos foram consideradas paredes de alvenaria natural e de escala reduzida. Paredes de pequena escala são importantes para economizar materiais e tempo, entre outros.

Foi realizada uma revisão da literatura para identificar estudos experimentais sobre o comportamento de estruturas de CCA e paredes de CCA submetidas a carregamentos laterais. Como resultado, foram encontrados dois estudos sobre o comportamento de estruturas de CCA em escala real (Gokmen et al., 2019; Tanner et al., 2005a). Em ambos os casos foram consideradas estruturas de dois níveis com paredes reforçadas internamente. No primeiro caso estudou-se o comportamento ao corte das paredes e, no segundo, o comportamento à flexão. Da mesma forma, foi encontrado um estudo sobre o comportamento de estruturas de CCA em escala reduzida (Tomažević e Gams, 2012). Foram consideradas estruturas de três e quatro andares com paredes reforçadas internamente. As estruturas foram construídas em escala reduzida de 1:4. O estudo centrou-se no comportamento ao corte das paredes. Por outro lado, foram encontrados alguns estudos sobre o comportamento à flexão e ao cisalhamento de paredes de CCA não reforçadas,

reforçadas internamente, diafragma e confinadas em escala real (Penna et al., 2018; Ravichandran e Klingner, 2012; Shing et al., 1990; Tanner et al., 2005b; Tomažević y Gams, 2012; Varela-Rivera et al., 2018; Varela-Rivera et al., 2023). Neste último caso, foram encontrados dois estudos onde foram propostas equações de projeto para determinar a resistência ao cisalhamento e ao cisalhamento por flexão de paredes confinadas de CCA, juntamente com as correspondentes recomendações de projeto por flexão (Varela-Rivera et al., 2018; Varela-Rivera et al., 2023). Adicionalmente, foram encontrados três estudos sobre o comportamento ao cisalhamento de paredes de CCA em escala reduzida (Bose e Rai, 2014; Tomažević e Gams, 2012; Zhenggang et al., 2017). No primeiro caso foram consideradas paredes reforçadas internamente, no segundo e terceiro casos paredes diafragma. As paredes foram construídas em escalas reduzidas de 2:5, 1:2 e 1:4, respectivamente.

Com base na revisão da literatura apresentada acima, observa-se que as estruturas de CCA em escala real e reduzida são estudadas de forma independente, ou seja, o comportamento das estruturas em escala reduzida não se compara com aquele correspondente às estruturas em escala natural. Por exemplo, o padrão de fissuração, a resistência, a rigidez e a distorção de estruturas de CCA em escala real e em escala reduzida não são comparados. O comportamento destas estruturas deve ser comparado não apenas na faixa linear, mas também na faixa não linear. Da mesma forma, a mesma situação é observada no caso das paredes de CCA; ou seja, o comportamento das paredes em escala natural e reduzida não se compara. Além disso, observa-se que não existem estudos experimentais sobre o comportamento de estruturas de CCA em escala real ou reduzida construídas com paredes confinadas. Foram encontrados apenas dois estudos experimentais em paredes reforçadas internamente com CCA em escala real (Gokmen et al., 2019; Tanner et al., 2005a). O exposto mostra a necessidade de estudar o comportamento de estruturas de CCA construídas com paredes confinadas para melhor compreender o seu comportamento global sob cargas laterais. Isto pode ser feito considerando estruturas de escala reduzida. Como primeiro passo, é desejável estudar apenas o comportamento das paredes confinadas de CCA em escala reduzida e comparar os resultados com os obtidos das correspondentes paredes confinadas de CCA em escala real.

Neste estudo, foi avaliado o comportamento ao cisalhamento de cinco paredes de CCA confinadas em escala reduzida. As paredes foram testadas sob cargas laterais cíclicas reversíveis no plano. Duas paredes foram construídas na escala 1:2 e três na escala 1:3. As variáveis de estudo foram o fator de escala geométrica e a proporção das paredes. Foram obtidas curvas de carga lateral – distorção para as paredes. O comportamento ao cisalhamento das paredes confinadas de CCA em escala reduzida foi comparado com aquele observado para as paredes de CCA em escala real correspondentes obtidas na literatura. As comparações foram baseadas no padrão de fissuração, resistência, rigidez e distorção das paredes confinadas de CCA. Estas comparações foram utilizadas para determinar fatores de escala experimental para as paredes de escala reduzida estudadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Paredes de amostra e propriedades do material

Neste estudo foram consideradas cinco paredes confinadas de CCA em escala reduzida, duas com escala 1:2 e três com escala 1:3 (Tabela 1). As paredes confinadas de CCA de controle em escala real foram previamente estudadas pelos autores (Varela-Rivera et al., 2023). Estas paredes estão representadas na Tabela 1 na escala 1:1. A altura (H), comprimento (L) e espessura (t) das paredes são apresentadas na Tabela 1. A altura da parede foi considerada até o ponto de aplicação da carga (Figura 1). As variáveis de estudo foram o fator de escala geométrica e a razão de aspecto (H/L) das paredes (Tabela 1). O fator de escala geométrica para resistência ao cisalhamento foi definido como a razão entre a área da seção transversal da espessura de uma parede em escala reduzida e a de uma parede em escala real. O fator de escala geométrica para rigidez foi definido como a relação

entre o parâmetro $(I/H^3 + A/H)$ de uma parede em escala reduzida e o parâmetro correspondente de uma parede em escala real, onde I é o momento de inércia da seção transversal da espessura da parede. Este parâmetro inclui deformações de flexão e cisalhamento. O fator de escala geométrica para distorção foi definido como a razão entre o parâmetro $[(I/H^3 + A/H)/H]$ de uma parede em escala reduzida e o parâmetro correspondente de uma parede em escala real.

Foi considerada uma tensão de compressão axial de 0,29 MPa para as paredes. Este esforço corresponde a uma estrutura de CCA de um nível. Na análise da carga gravimétrica assumiu-se que as estruturas são construídas com paredes e lajes de CCA. Blocos sólidos de CCA foram considerados para as paredes. Para as paredes na escala 1:1, as dimensões dos blocos foram 0,15 x 0,20 x 0,61 m (espessura x altura x comprimento). Para paredes nas escalas 1:2 e 1:3, as dimensões dos blocos foram reduzidas aproximadamente por um fator de 2 e 3, respectivamente. As peças foram cortadas com serra de fita elétrica e às vezes com serra manual conforme recomendado para construção do CCA.

Tabela 1. Detalhes das paredes confinadas de CCA.

Parede CCA	Escala	H (m)	L (m)	t (mm)	H/L
W1-11*	1:1	2h40	1,95	150	1,23
W2-11*	1:1	2h40	1,24	150	1,94
W3-11*	1:1	2h40	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	0h30	50	2,64

*Varela-Rivera et al. (2023)

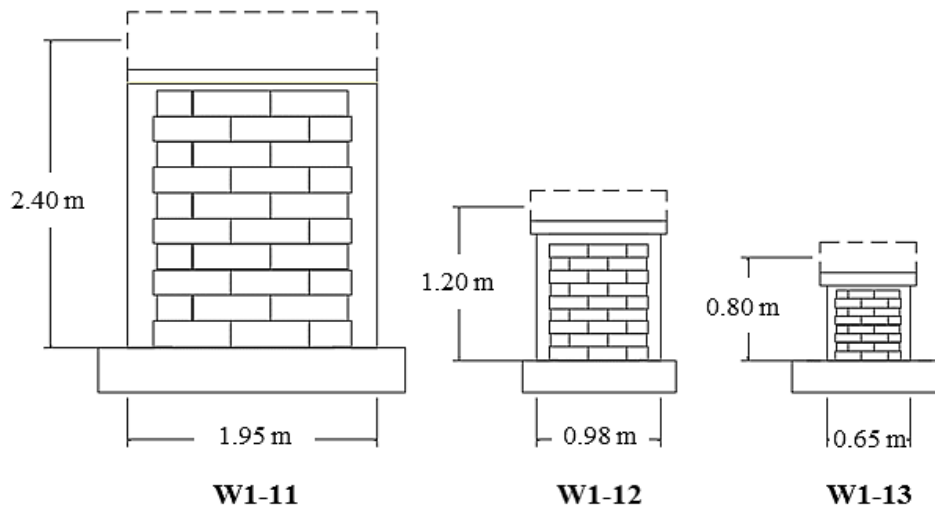


Figura 1. Esquema das paredes confinadas de CCA.

A parede W1-11 foi projetada para induzir fissuras de cisalhamento diagonal e as paredes W2 -11 e W3-11 para induzir fissuras de cisalhamento por flexão (Varela-Rivera et al., 2023). As paredes de escala reduzida foram projetadas para induzir fissuras diagonais. As dimensões finais das seções transversais (ST) e os detalhes das armaduras dos pilares (EC) das paredes são apresentadas na Tabela 2. A altura da seção transversal dos pilares das paredes na escala 1:2 foi 110 mm (Tabela

2). Esta altura foi necessária para induzir fissuras diagonais nas paredes. A armadura longitudinal (RL) foi constituída por barras de aço corrugado com limite de escoamento nominal de 412 MPa. A armadura transversal (RT) foi constituída por barras de aço simples com limite de escoamento nominal de 248 MPa. Este tipo de aço liso é amplamente utilizado no México em estruturas de alvenaria e concreto armado. Não foi utilizada armadura transversal nas paredes de escala reduzida (Tabela 2). Isto deveu-se às dimensões reduzidas das seções transversais dos pilares. O tamanho máximo do agregado graúdo dos pilares de concreto para paredes nas escalas 1:1 e 1:2 foi de 19 mm e 9,52 mm, respectivamente. Para as paredes na escala 1:3 foi utilizada argamassa em vez de concreto. As proporções em volume da argamassa foram de 1:2 (cimento Portland:areia). A relação de aspecto final das paredes é apresentada na Tabela 1. A resistência à compressão especificada para o concreto dos pilares das paredes na escala 1:1 foi de 14,7 MPa. A resistência à compressão especificada para o concreto e argamassa dos pilares das paredes nas escalas 1:2 e 1:3 foi de 19,6 MPa. A mudança na resistência à compressão foi associada à mudança na resistência mínima à compressão do concreto especificada na nova versão das Normas Técnicas de Alvenaria da Cidade do México (Normas Técnicas de Mampostería de la Ciudad de México – NTCM, 2020). As paredes correspondentes com escalas diferentes, por exemplo, as paredes W1-11, W1-12 e W1-13 tinham a mesma proporção.

As propriedades mecânicas do CCA, argamassa de nivelamento, argamassa de parede fina e a argamassa dos pilares das paredes são apresentadas na Tabela 3. Todas as propriedades foram determinadas utilizando amostras de tamanho regular de acordo com as especificações das normas ASTM correspondentes (Tabela 3) (ASTM C109, 2021; nenhuma redução no tamanho das amostras correspondentes foi considerada para as paredes em escala reduzida.

Tabela 2. Detalhes dos pilares das paredes.

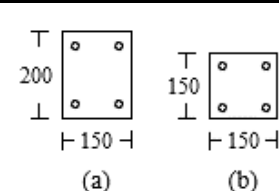
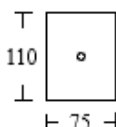
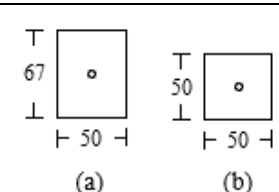
Parede de CCA	ST dos EC (mm)	RL	TR
W1-11 (para) W2-11 e W3-11 (b)		4#3	#2@ 200 mm
W1-12 a W2-12		1#4	-
W1-13 (para) W2-13 e W3-13 (b)		1#3	-

Tabela 3. Propriedades dos materiais das paredes.

Propriedade	Parede de CCA	ASTM	Média (MPa)	CV
Resistência à compressão do 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
Resistência à compressão da argamassa de nivelamento ($f_{j1:3}$)	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
Resistência à compressão de argamassas de paredes finas (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
Resistência à compressão do concreto dos pilares (f_c)	W1-11 a W3-11	C39	15,85	0,02
	W1-12 a W2-12		25,10	0,07
Resistência à compressão da argamassa dos pilares ($f_{j1:2}$)	W1-13 a W3-13	C109	23,92	0,02

2.2 Construção de paredes

A construção das paredes confinadas de CCA foi realizada por um trabalhador experiente. Os blocos se sobrepuseram ao longo de seu comprimento médio. A primeira fiada de blocos foi assentada com argamassa na proporção volumétrica de 1:3 (cimento Portland: areia) e argamassa de paredes finas. O primeiro foi utilizado na junta de nivelamento horizontal e o segundo nas juntas verticais. As fiadas de blocos subsequentes foram colocadas com argamassa de parede fina. A espessura média da argamassa de nivelamento de paredes nas escalas 1:1, 1:2 e 1:3 foi de aproximadamente 10 mm, 5 mm e 3,3 mm, respectivamente. A espessura média da argamassa fina das paredes nas escalas 1:1, 1:2 e 1:3 foi de aproximadamente 3 mm, 2 mm e 2 mm, respectivamente. A construção das paredes foi efetivada da seguinte forma: primeiro foram colocadas as fiadas de blocos e depois foi colocado o concreto dos pilares. Por fim, foi colocado o concreto da viga superior. Foi utilizado um dentado de 25 mm nos blocos finais das fiadas ímpares das paredes na escala 1:1. Este dentado foi reduzido por um fator de 2 e 3 para paredes com escalas de 1:2 e 1:3, respectivamente. A Figura 1 mostra o diagrama das paredes W1-11, W1-12 e W1-13.

2.3 Sistema de carregamento das paredes

As paredes confinadas de CCA em escala reduzida foram testadas sob carga axial constante e cargas laterais incrementais cíclicas reversíveis até a ruptura. As cargas axiais foram determinadas utilizando a tensão de compressão axial de 0,29 MPa juntamente com o correspondente comprimento e espessura das paredes (Tabela 1). Cargas laterais foram aplicadas usando um pórtico de reação metálico, uma viga de carga metálica e um “macaco” hidráulico bidirecional (Figura 2a). A carga lateral foi medida usando uma célula de carga de tensão-compressão tipo “dona”. Esta carga foi verificada usando dois transdutores de pressão. As paredes foram ancoradas a uma laje de reação móvel que foi ancorada ao piso de reação do laboratório. A carga axial foi aplicada por meio de uma viga oscilante, uma viga espalhadora, duas barras roscadas e um “macaco” hidráulico (Figura 2b). A pressão no “macaco” foi mantida constante durante o teste utilizando um controlador de pressão mecânico (Edison, 1994). A carga axial foi medida usando duas células de carga tipo “dona”. Esta carga foi verificada usando um transdutor de pressão. As paredes em escala real foram testadas em condições semelhantes (Varela-Rivera et al., 2023).

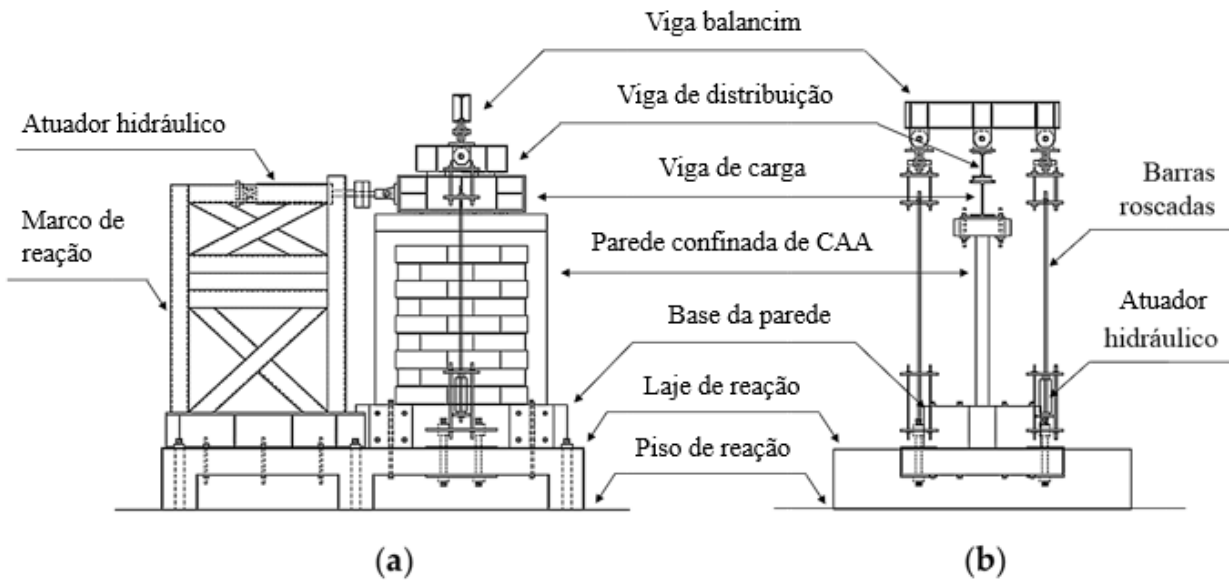


Figura 2. Sistema de carregamento das paredes. (a) Sistema de carregamento lateral; (b) Sistema de carregamento axial.

2.1 Instrumentação e protocolo de carregamento das paredes

Os deslocamentos horizontais e verticais das paredes em escala reduzida foram medidos por meio de potenciômetros de polia linear (PP). Os deslocamentos relativos entre a viga portante e a parede, a parede e a laje de reação móvel, e a laje de reação móvel e o piso de reação foram medidos utilizando potenciômetros de haste linear (PL). Uma visão típica da instrumentação das paredes é apresentada na Figura 3. Nesta figura, CCD refere-se à célula de carga tipo “dona”. O protocolo de carregamento utilizado para testar as paredes foi baseado no especificado nas Normas Técnicas de Alvenaria da Cidade do México (NTCM, 2020). Este protocolo possui quatro ciclos reversíveis controlados por carga inicial e ciclos subsequentes controlados por distorção. Instrumentação e protocolo de carregamento semelhantes foram utilizados para paredes em escala real (Varela-Rivera et al., 2023).

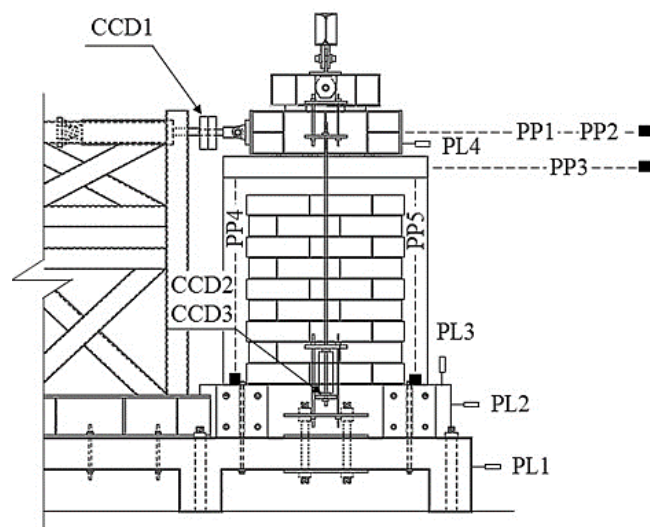


Figura 3. Vista típica da instrumentação da parede.

3. RESULTADOS

3.1 Propriedades dos materiais

As propriedades mecânicas médias do CCA, argamassa de nivelamento, argamassa de parede fina (espessura fina), concreto e argamassa dos pilares da parede são apresentadas na Tabela 3. Os correspondentes coeficientes de variação (CV) estão incluídos nessa tabela. A resistência média à compressão do CCA das paredes na escala 1:2 foi 11% inferior à obtida para paredes nas escalas 1:1 e 1:3. Da mesma forma, a resistência média à compressão da argamassa de paredes finas de escala 1:2 foi 41% inferior à obtida para paredes de escala 1:1 e 1:3. O CCA e a argamassa da parede fina para as paredes na escala 1:2 foram obtidos de diferentes fabricantes. O comportamento ao cisalhamento das paredes em escala reduzida não foi afetado por tais diferenças de propriedades, conforme descrito abaixo.

3.1 Comportamento global das paredes em escala reduzida

O comportamento das paredes na escala 1:2 foi geralmente semelhante. O comportamento foi caracterizado pela formação de fissuras de flexão horizontais na parte inferior dos pilares. Posteriormente, foram observadas fissuras diagonais de cisalhamento no painel de parede juntamente com novas fissuras de flexão ao longo da altura dos pilares. No caso da parede W2-12, foram observadas fissuras de cisalhamento por flexão antes da formação de fissuras de cisalhamento diagonais. Durante o dimensionamento desta parede, observou-se que as previsões das cargas associadas aos dois tipos de fissuração foram semelhantes. À medida que a distorção aumentou, novas fissuras diagonais foram observadas no painel da parede, formando o tradicional padrão de fissura final em forma de “X”. A ruína das paredes esteve associada à propagação de fissuras diagonais de cisalhamento nas extremidades dos pilares. O comportamento das paredes à escala 1:3 foi, em geral, semelhante ao observado para a parede W1-12. O padrão final de fissuração e o tipo de ruptura das paredes na escala 1:3 foram semelhantes aos observados nas paredes na escala 1:2. O padrão de fissuração das paredes em escala reduzida, associado à carga lateral máxima, é apresentado na Figura 4. As curvas carga lateral – distorção das referidas paredes são apresentadas na Figura 5.

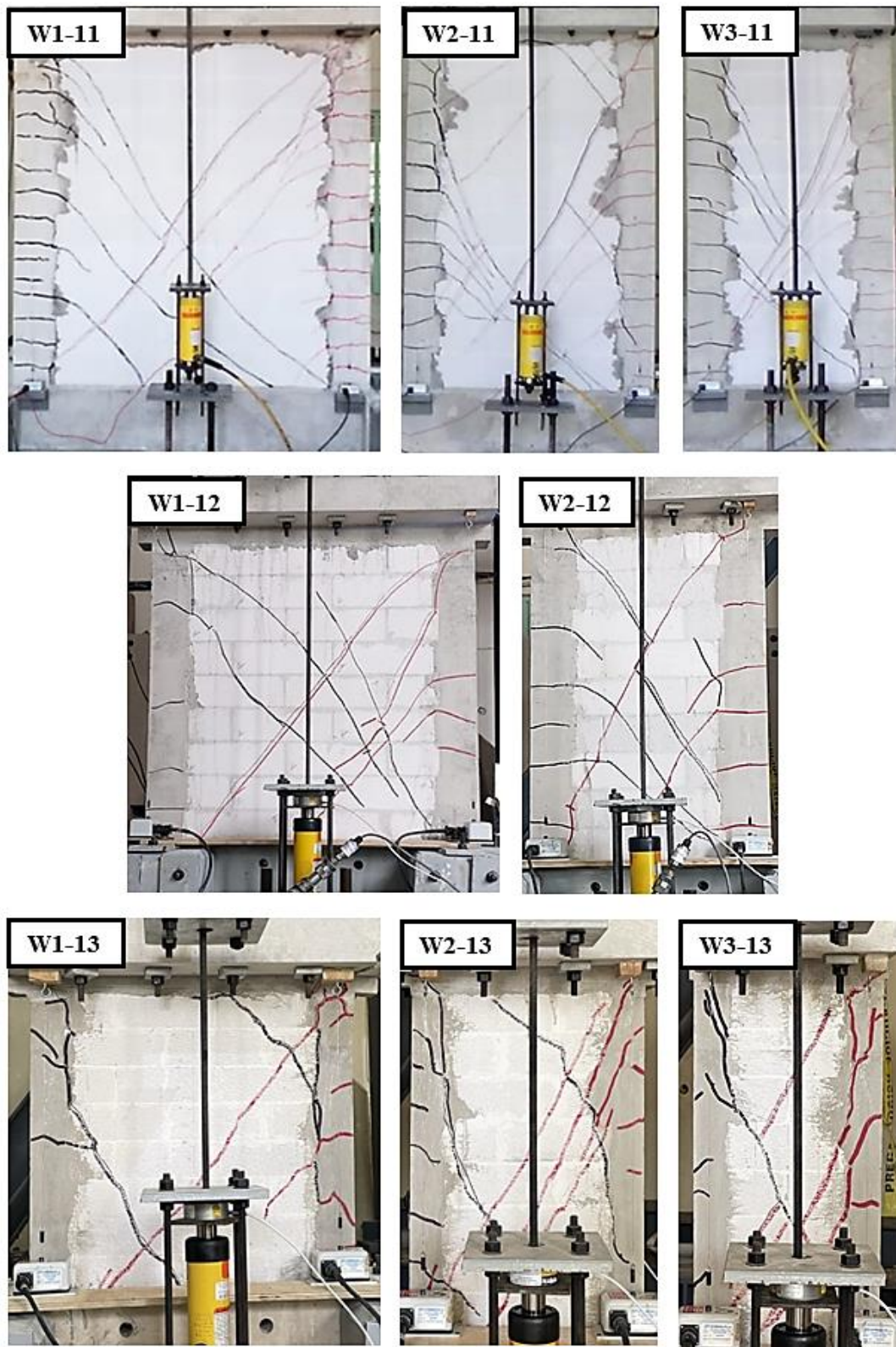


Figura 4. Padrão de fissuração da parede associado à carga lateral máxima.

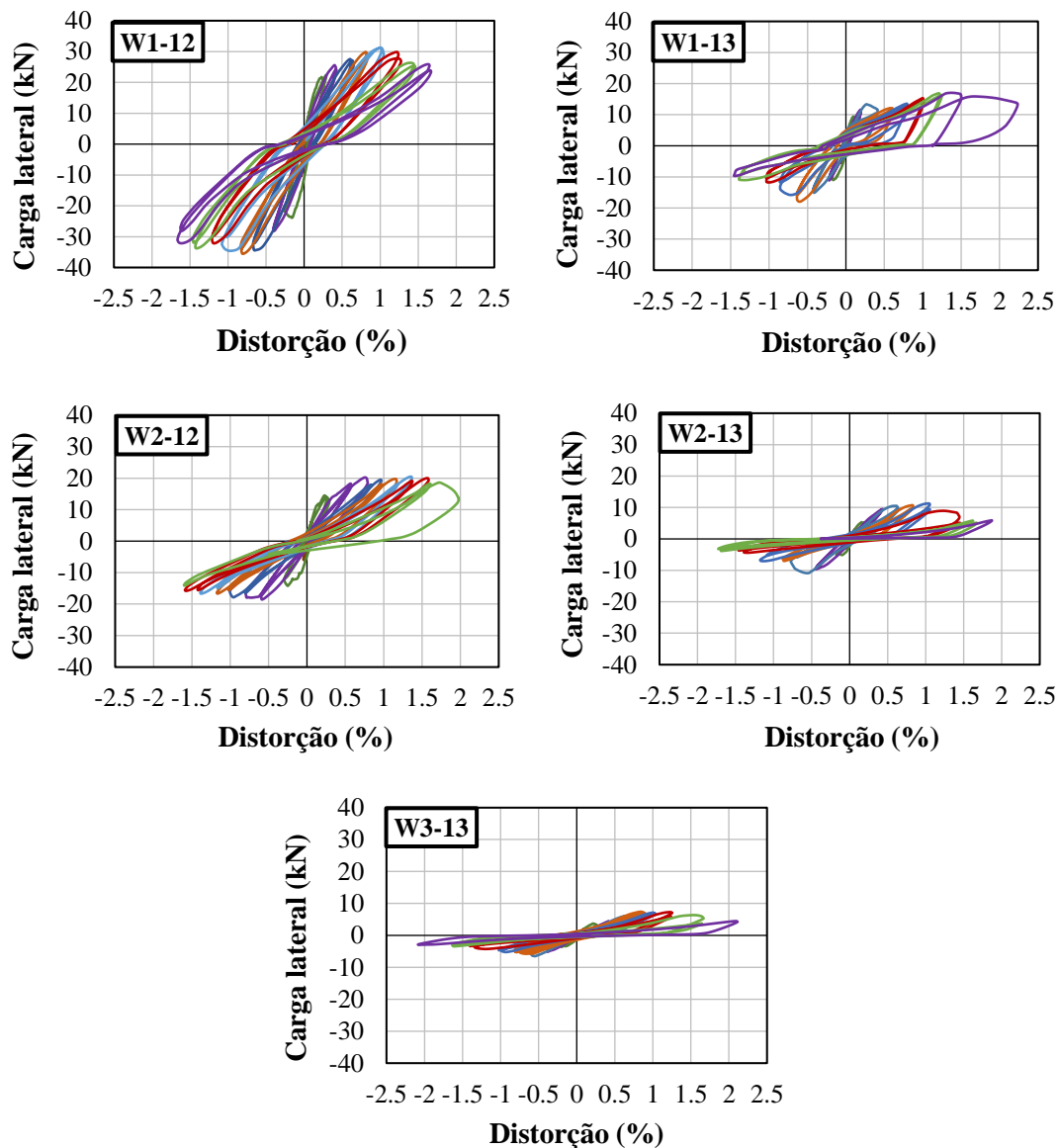


Figura 5. Curvas de carga lateral – distorção da parede em escala reduzida.

4. DISCUSSÃO

4.1 Padrão de fissuração na parede com diferentes escalas

O padrão de fissuração das paredes nas escalas 1:1, 1:2 e 1:3 é apresentado na Figura 4. Este padrão foi associado à carga lateral máxima das paredes nos ciclos de carga positiva. O padrão de fissuração das paredes nas escalas 1:1, 1:2 e 1:3 foi geralmente semelhante (Figura 4). Este padrão foi caracterizado principalmente pela formação de fissuras de flexão horizontais ao longo da altura dos pilares e fissuras de cisalhamento diagonais no painel de CCA das paredes. No caso das paredes W2-11, W3-11 e W2-12 foram observadas algumas fissuras de flexão-cisalhamento conforme descrito anteriormente. As fissuras diagonais observadas nas paredes se formaram nas peças de CCA e não nas juntas, ou seja, não foram observadas fissuras escalonadas. Isto significa que as paredes confinadas de CCA se comportaram como paredes monolíticas. Isso se deveu ao fato de a argamassa de espessura fina ser mais resistente que os blocos CCA (Tabela 3). Fissuras escalonadas são comumente vistas em paredes confinadas construídas com blocos ceramicos ou concreto, com argamassa mais fraca que as peças. Com base nesta comparação, observou-se que o padrão de

fissuração das paredes não depende das escalas geométricas ou das relações de aspecto das paredes estudadas.

4.2 Resistência ao cisalhamento de paredes com diferentes escalas

A resistência experimental ao cisalhamento (V_c) das paredes é apresentada na Tabela 4. Esta resistência foi associada à primeira fissuração diagonal (CD) ou à primeira fissuração por flexão (FC). Apenas ciclos de carga positivos foram considerados. A resistência máxima experimental ao cisalhamento (V_m) das paredes está incluída na Tabela 4. Esta resistência foi associada à carga lateral máxima observada nos ciclos de carga positiva. A resistência ao cisalhamento das paredes com a mesma escala aumentou à medida que a relação de aspecto diminuiu (Tabela 4). Por exemplo, a resistência ao cisalhamento da parede W1-13 com proporção de 1,23 foi 144% maior do que a da parede W3-13 com proporção de 2,64. Foram determinados fatores de escala experimental para a resistência ao cisalhamento (ER_c) das paredes nas escalas 1:2 e 1:3 (Tabela 4). Os fatores de escala foram calculados como a razão entre a resistência ao cisalhamento das paredes em escala reduzida e a das paredes em escala real correspondentes. Estes factores de escala estão relacionados com o comportamento linear das paredes. Da mesma forma, foram determinados fatores de escala experimental para a resistência máxima ao cisalhamento (ER_m) das paredes nas escalas 1:2 e 1:3 (Tabela 4). Neste caso, os factores de escala estão relacionados com o comportamento não linear das paredes. Os valores médios de ER_c e ER_m para as paredes na escala 1:2 foram de 0,27 e 0,24, respectivamente. Da mesma forma, os valores médios de ER_c e ER_m para as paredes na escala 1:3 foram de 0,10 e 0,13, respectivamente. Para paredes nas escalas 1:2 e 1:3, os fatores de escala geométrica para resistência ao cisalhamento (EGR) foram 0,25 e 0,11, respectivamente (Tabela 4). Observou-se que os fatores de escala geométrica e experimental para a resistência ao cisalhamento e resistência máxima ao cisalhamento das paredes foram semelhantes. A resistência ao cisalhamento das paredes está associada principalmente à espessa área da seção transversal das paredes, por exemplo, ao comprimento e espessura das paredes.

Tabela 4. Fatores de escala experimental para resistência ao cisalhamento das paredes.

Parede de CCA	H/L	V_c (kN)	Tipo de fissura	ER_c	ER_c média	V_m (kN)	ER_m	ER_m média	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)

4.3 Rigidez de paredes com diferentes escalas

A rigidez secante experimental associada à resistência ao cisalhamento (K_c) e à resistência máxima ao cisalhamento (K_m) das paredes é apresentada na Tabela 5. Foram considerados apenas ciclos de carregamento positivo. Foram determinados fatores de escala experimentais para a rigidez secante associada à resistência ao cisalhamento (EK_c) e à resistência máxima ao cisalhamento (EK_m) das paredes nas escalas 1:2 e 1:3 (Tabela 5). Os valores médios de EK_c e EK_m para as paredes na escala 1:2 foram de 0,36 e 0,48, respectivamente. Da mesma forma, os valores médios de EK_c e EK_m para as paredes na escala 1:3 foram de 0,44 e 0,40, respectivamente. Para paredes nas escalas 1:2 e 1:3,

os fatores de escala geométrica para rigidez (EGK) foram 0,50 e 0,33, respectivamente (Tabela 5). Para as paredes na escala 1:2 o fator de escala geométrica para rigidez foi maior EK_c e semelhante EK_m (Tabela 5). Com base no exposto, observa-se que K_c foi superestimado e K_m bem previsto com os fatores de escala geométrica. Para as paredes na escala 1:3, o fator de escala geométrica para rigidez foi menor que EK_c e EK_m (Tabela 5). Com base no exposto, observa-se que K_c e K_m foram subestimados com os fatores da escala geométrica. Os fatores experimentais de escala para rigidez incluem a contribuição do aço da armadura, do concreto dos pilares e do painel de CCA das paredes. O acima exposto é geralmente considerado utilizando as propriedades da seção transversal transformada das paredes; no entanto, os fatores de escala geométrica para rigidez foram calculados usando as propriedades da seção transversal espessa das paredes.

Tabela 5. Fatores de escala experimental para rigidez das paredes

Parede de CCA	H/L	K_c (kN/cm)	EK_c	EK_c média	K_m (kN/cm)	EK_m	EK_m média	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)

4.4 Distorção de paredes com diferentes escalas

A distorção experimental associada à resistência ao cisalhamento (δ_c) e à resistência máxima ao cisalhamento (δ_m) das paredes é apresentada na Tabela 6. Foram considerados apenas ciclos de carregamento positivos. A distorção de paredes com a mesma escala aumentou à medida que a proporção aumentou (Tabela 6). Por exemplo, a distorção da parede W3-13 com proporção de 2,64 foi 163% maior do que a da parede W1-13 com proporção de 1,23. Foram determinados fatores de escala experimental para a distorção associada à resistência ao cisalhamento ($E\delta_c$) e à resistência máxima ao cisalhamento ($E\delta_m$) das paredes nas escalas 1:2 e 1:3 (Tabela 6). Os valores médios de $E\delta_c$ e $E\delta_m$ para as paredes na escala 1:2 foram 1,46 e 1,01, respectivamente. Da mesma forma, os valores médios de $E\delta_c$ e $E\delta_m$ para as paredes na escala 1:3 foram de 0,74 e 0,95, respectivamente. Para paredes nas escalas 1:2 e 1:3, os fatores de escala geométrica para distorção ($EG\delta$) foram ambos 1,0 (Tabela 6). Com base no exposto, observa-se que para as paredes na escala 1:2, o fator de escala geométrica para a distorção foi menor $E\delta_c$ e semelhante a $E\delta_m$. Para as paredes na escala 1:3, o fator de escala geométrica foi maior que $E\delta_c$ e $E\delta_m$. O acima exposto foi associado às mesmas razões descritas acima para os fatores de escala experimentais para rigidez.

Tabela 6. Fatores de escala experimental para distorção das paredes

Parede de CCA	H/L	δ_c (%)	$E\delta_c$	$E\delta_c$ média	δ_m (%)	$E\delta_m$	$E\delta_m$ média	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. CONCLUSÕES

O comportamento ao cisalhamento de cinco paredes confinadas de CCA foi avaliado em escalas reduzidas de 1:2 e 1:3. O comportamento das paredes confinadas de CCA em escala reduzida foi comparado com o das paredes confinadas de CCA em escala real correspondentes obtidas de Varela-Rivera et al. (2023). Com base nas comparações correspondentes, são apresentadas as seguintes conclusões:

1. O padrão de fissuração das paredes nas escalas 1:1, 1:2 e 1:3 foi geralmente semelhante. Este padrão foi caracterizado principalmente pela formação de fissuras de flexão horizontais ao longo da altura dos pilares e fissuras de cisalhamento diagonais no painel de CCA das paredes. O exposto indica que o padrão de fissuração das paredes não depende das escalas geométricas ou das proporções das paredes estudadas.
2. Para as paredes nas escalas 1:2 e 1:3, os fatores de escala geométrica para resistência ao cisalhamento e resistência máxima ao cisalhamento foram semelhantes aos fatores de escala experimental correspondentes. O que foi dito acima indica que a resistência ao cisalhamento e a resistência máxima ao cisalhamento das paredes nas escalas 1:2 e 1:3 podem ser previstas usando fatores de escala geométrica.
3. Para as paredes na escala 1:2, o fator de escala geométrica para a rigidez foi maior que o observado para a resistência ao cisalhamento, mas foi semelhante ao observado para a resistência ao cisalhamento máxima. Para paredes na escala 1:3, o fator de escala geométrica para rigidez foi inferior aos observados para resistência ao cisalhamento e resistência máxima ao cisalhamento. Fatores de escala geométrica podem ser usados para prever a rigidez associada à resistência máxima ao cisalhamento de paredes em uma escala de 1:2; no entanto, eles não são recomendados para paredes em escala 1:3.
4. Para as paredes na escala 1:2, o fator de escala geométrica para distorção foi menor que o observado para a resistência ao cisalhamento, mas foi semelhante ao observado para a resistência ao cisalhamento máxima. Para as paredes na escala 1:3, o fator de escala geométrica foi maior que os observados para a resistência ao cisalhamento e resistência máxima ao cisalhamento. Fatores de escala geométrica não são recomendados para prever a distorção associada à resistência ao cisalhamento da parede nas escalas 1:2 e 1:3. Fatores de escala geométrica podem ser usados para prever a distorção associada à resistência máxima ao cisalhamento de paredes nas escalas 1:2 e 1:3.

6. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pelo Conselho Nacional de Humanidades, Ciências e Tecnologias (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías - CONAHCYT), número do projeto: 288718. O CCA foi fornecido pela Aircrete México e Litecrete México. O segundo autor recebeu bolsa da CONAHCYT. Os autores agradecem o trabalho realizado pelos seguintes ex-alunos de pós-graduação: Eduardo Ricalde-Canto e Edwin Sánchez-Dorantes.

7. REFERÊNCIAS

- 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*” em: 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* (em espanhol). Cidade do 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. (em espanhol).
- 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.
- Tomažević, 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>
- Tomažević, 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>
- Tomažević, 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)
- Tomažević, 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*” em: 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>