Revista ALCONPAT
www.revistaalconpat.org
eISSN 2007-6835
Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción

Compressão diagonal de alvenaria de blocos de concreto vazados como indicador de vulnerabilidade estrutural.

E. F. Hernández [1]*, E. J. Aguilar Arriola[2], H. Martínez[3]
* Autor de Contato: eddisson.hernandez@uam.edu.ni
DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v15i3.794

Recebido: 06/02/2025 | Correções recebidas: 07/07/2025 | Aceito: 13/08/2025 | Publicado: 01/09/2025

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho de blocos artesanais e semi-industrialmente fabricados, em prismas e paredes, sob forças verticais e diagonais, necessárias para determinar a vulnerabilidade estrutural de edifícios a riscos sísmicos. Construções de alvenaria de blocos de concreto são comumente usadas na região do Pacífico da Nicarágua, principalmente para projetos habitacionais. Em 2017, o Ministério dos Transportes e Infraestrutura publicou a "Norma mínima para diseño y construcción de albañilería MP-001" como um complemento ao Reglamento Nacional de la Construcción. No entanto, esta norma não considera as características e propriedades dos materiais locais. Nesta pesquisa prismas e paredes foram construídos com blocos de concreto, e os tipos de falhas e o desempenho mecânico em idades posteriores foram determinados. Os resultados mostraram uma tendência a falhas de tração diagonal em paredes, com uma resistência média (Vm) de 6,7 kg/cm2, superior às mostradas na literatura.

Palavras-chave: compressão diagonal; bloco de concreto vazado; alvenaria; vulnerabilidade.

Citar como: Hernández, E. F., Aguilar Arriola, E. J., Martínez, H. (2025), *"Compressão diagonal de alvenaria de blocos de concreto vazados como indicador de vulnerabilidade estrutural."*, Revista ALCONPAT, 15 (3), pp. 335 – 347, DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v15i3.794

[1] Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Americana, Managua, Nicaragua.
[2] Investigador independiente, Managua, Nicaragua.
[3] Instituto Tecnológico de Pachuca, Pachuca de Soto, México.

Contribuição de cada autor
En este trabajo E. Hernández desarrollo del diseño de experimento, procesamiento de datos, resultados y discusión. Su contribución en este trabajo fue de 40%. E. Aguilar es el de la idea del proyecto, apoyo con el desarrollo experimental y procesamiento de datos. Su contribución en este trabajo fue de 40%. H. Martínez apoyo con el desarrollo experimental y procesamiento de datos. Su contribución en este trabajo fue de 20%.

Licença Creative Commons
Copyright (2025) 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).

Discussões e correções pós-publicação
Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no segundo número do ano 2026, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do primeiro número do ano de 2026.

© 2025 ALCONPAT Internacional

Diagonal compression of hollow concrete block masonry, as an indicator of structural vulnerability.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the performance of artisanal and semi-industrial blocks, used to make prisms and walls, under vertical and diagonal stresses necessary to determine the structural vulnerability of buildings to seismic hazards. Concrete block masonry constructions are commonly used in the Pacific region of Nicaragua, mainly in housing projects. In 2017, the Ministry of Transportation and Infrastructure, published the "Minimum Standard for Design and Construction of Masonry MP-001", as a complement to the National Construction Regulations. However, this standard does not take into account the characteristics and properties of local materials. Concrete blocks prisms and walls were elaborated, and failure types and mechanical performance at later ages were determined. The results showed a tendency to diagonal stress failures in walls, with an average strength (Vm) of 6.7 kg/cm^2, higher than those reported in the literature.

Keywords: diagonal compression; hollow concrete block; masonry; vulnerability.

Compresión diagonal de mampostería de bloques huecos de concreto, como indicador de vulnerabilidad estructural.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño de bloques de fabricación artesanal y semi-industrial, en prismas y muros, ante esfuerzos verticales y diagonales, necesarios para determinar la vulnerabilidad estructural de edificios ante amenazas sísmicas. Las construcciones con mampostería de bloques de concreto son comúnmente empleadas en la zona del pacífico de Nicaragua, principalmente para el desarrollo de proyectos de vivienda. En el año 2017, el Ministerio de Transporte e Infraestructura publicó la “Norma mínima para diseño y construcción de albañilería MP-001”, como complemento del Reglamento Nacional de la Construcción. Sin embargo, esta norma no tiene en cuenta las características y propiedades de los materiales locales. Se elaboraron prismas y muros con bloques de concreto, y determinaron los tipos de fallas y el desempeño mecánico a edades tardías. Los resultados mostraron una tendencia a fallas por tensión diagonal en muros, con una resistencia promedio (Vm) de 6.7 kg/cm^2, superior a las mostradas en la literatura.

Palabras clave: compresión diagonal; bloque hueco de concreto; mampostería; vulnerabilidad.

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. +52 1 983 419 8241, 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

A Nicarágua é frequentemente afetada por terremotos (sejam eles tectônicos, de subducção ou de falhamento superficial), que representam uma das principais ameaças ao seu território. Há evidências significativas de danos causados por esses eventos na região do Pacífico do país, como os terremotos de 1968 e 1972 em Manágua. Por isso, ao longo dos anos, esforços têm sido feitos para aprimorar as normas e os regulamentos de construção, substituindo os sistemas históricos de alvenaria de adobe por alvenaria de blocos de concreto (o que ocorre quase exclusivamente hoje).
Além do mencionado anteriormente, as edificações no país são altamente vulneráveis estruturalmente, especialmente as habitações populares (Ruíz Valverde e Morales Leiva 2018) . Vulnerabilidade estrutural refere-se à suscetibilidade da estrutura a potenciais danos às partes da edificação que a mantêm em pé durante um forte terremoto. Isso inclui fundações, pilares, paredes, vigas e lajes (Bonett Díaz 2003) .
A vulnerabilidade estrutural vai além da exposição de uma edificação a riscos sísmicos; ela também pode ser afetada por outros fenômenos naturais, como furacões, chuvas torrenciais, tsunamis, etc., que causam deterioração e reduzem a vida útil das estruturas.
Na Nicarágua, as habitações de baixa renda e de classe média compartilham os mesmos sistemas e materiais construtivos (alvenaria armada ou confinada e blocos de concreto). Manágua, a capital, é ameaçada por frequentes eventos sísmicos que afetam edifícios feitos de blocos de concreto (Aguilar Arriola 2016). Portanto, é importante avaliar o comportamento desses sistemas construtivos por meio de ensaios em prismas ou paredes. No caso de prismas, os tipos comuns de falhas que podem apresentar são: fissuração vertical, falha cônica, esmagamento de peças, falha por flexão, falha por cisalhamento, falha explosiva, etc. (NMX-C-464-ONNCCE, 2010) . Por outro lado, as falhas típicas de paredes de alvenaria submetidas à compressão diagonal podem ser de três tipos: 1) falha por tração diagonal em blocos, que produz uma fissura diagonal que atravessa as peças, sua trajetória é aproximadamente reta; 2) falha por tração diagonal nas juntas, que ocorre devido à falta de aderência entre o bloco e a argamassa. Sua trajetória é escalonada, aproximadamente no centro da parede; 3) falha por deslizamento, que provoca a falha do bloco e o colapso da argamassa, resultando em uma junta horizontal (Fernández Baqueiro et al. 2009) .
Para sistemas de alvenaria, é necessário entender as capacidades e comportamentos dos materiais utilizados, como concreto (vigas e pilares em alvenaria confinada), blocos vazados à base de argamassa de cimento e argamassa de ligação ou adesivo, para alcançar maior durabilidade da edificação. Durabilidade refere-se à "capacidade de resistir à ação do tempo, ataque químico, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração" (Hernández, 2017). A resistência da argamassa é muito importante; ela garante a fixação adequada dos blocos e uma parede bem consolidada. Diferentes combinações e dosagens de argamassa podem ser usadas para obter melhor desempenho (resistência, térmica, flexibilidade, etc.). Uma maneira de melhorar as qualidades da argamassa é que, à medida que a pressão de moldagem aumenta, tanto a densidade quanto a resistência à compressão aumentam. De acordo com a evolução da resistência à compressão para diferentes níveis de pressão de moldagem, pode-se supor que, à medida que a pressão continua a aumentar, a resistência continuará a aumentar. Entretanto, verificou-se que na prática existe um limite em torno de 0,40 MPa, a partir do qual ocorre a perda de pasta de cimento dos aglomerados, impossibilitando sua produção (Argento, et al. 2019).
Por outro lado, os blocos e a argamassa formam a unidade que é a parede (com ou sem aberturas/vazios), que é a essência do sistema de alvenaria. Blocos feitos de argamassa de cimento permitem muitas alternativas de melhoria, desde as proporções da mistura, materiais, aditivos utilizados, etc. Isso é de vital importância, considerando a demanda por blocos à base de argamassa de cimento na região do Pacífico da Nicarágua, para gerar uma produção maior. Isso é assumido pelas fábricas de blocos, em sua maioria artesanais, que produzem peças com resistências à

compressão variadas.
Apesar da existência de uma série de resultados e amostragens sobre a resistência à compressão de unidades de bloco, na Nicarágua não há dados sobre ensaios em prismas e paredes pequenas, porque estes foram padronizados até 2017 pelo Ministerio de Transporte e Infraestructura, através da Norma Mínima de Diseño y Construcción de Mampostería MP-001 (MTI, 2017), que é complementar ao Reglamento Nacional de la Construcción. Até o momento, não há documentação de processos ou resultados a esse respeito, razão pela qual, neste trabalho, a Norma Mexicana NMX-C-464-ONNCCE (2010) foi utilizada como referência para os ensaios de paredes pequenas e pilares. As experiências de ensaios realizados em outros países em prismas e paredes pequenas mostram comportamentos característicos. Por exemplo, o modo de falha por deslizamento da alvenaria (devido à fraca adesão entre a argamassa e as peças de alvenaria), e também à falha por tração diagonal (Tena Colunga, Juárez Ángeles e Salinas Vallejo, 2007) .
Em relação à qualidade técnica e profissional do setor da construção civil da Nicarágua, embora existam programas técnicos e de graduação disponíveis para a formação de mestres de obras, engenheiros civis e arquitetos em diversas instituições públicas e privadas, na pós-graduação não há programas focados em pesquisa de materiais, especificamente em "materiais de construção" (Hernández, 2017). O objetivo deste estudo é determinar a resistência à compressão vertical e diagonal de prismas e paredes feitas de dois tipos de blocos vazados de concreto e avaliar sua relação com a vulnerabilidade estrutural de edifícios a terremotos.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Alvenaria

A alvenaria é um sistema construtivo heterogêneo com dois componentes básicos: tijolos e argamassa. A argamassa desempenha diversas funções nesse sistema, sendo uma delas a de formar uma camada de ligação entre os tijolos e a outra a de permitir a transmissão uniforme das forças internas. O mecanismo de falha da alvenaria depende da diferença no módulo de elasticidade entre cada tijolo e a argamassa (Freeda Christy, Tensing e Mercy Shanthi, 2013).
A alvenaria é uma combinação de vários materiais, sua falha depende de múltiplos fatores (Sánchez Tizapa, et al. 2017) como:

a) A existência ou não de elementos de reforço, como aço horizontal, aço vertical ou elementos de confinamento.
b) Relação de forma das paredes.
c) Características mecânicas, geométricas e físicas das peças, incluindo sua rugosidade.
d) Tipo e magnitude da solicitação.
e) Características físicas e mecânicas da argamassa.
f) Relação entre as características mecânicas da argamassa e das peças.
g) O nível de saturação das peças no momento da colagem.

Como mencionado anteriormente, a alvenaria é uma parte crucial da identidade construtiva da Nicarágua. Além de ser usada como fechamento, também é utilizada em paredes estruturais (como elementos de fachada e outros). É comumente considerada "não estrutural" e não é levada em consideração na análise da resposta de uma edificação a eventos sísmicos. No entanto, quando a alvenaria se separa da estrutura, corre o risco de tombar devido à perda do efeito de arco que lhe permite resistir às forças laterais. Ao mesmo tempo, se a alvenaria se separar da estrutura, perde seu efeito de enrijecimento, aumentando assim o período fundamental (Pujol e Rodríguez, 2019).

2.2 Materiais

Para os testes foram utilizados materiais comumente utilizados na construção civil no município de Managua, como:

- Areia – obtida do banco de Motastepe. Foi peneirada em uma peneira de malha nº 8 para fazer argamassa.
- Cimento – Foi utilizado Cimento Hidráulico Tipo GU, que atende a norma ASTM C1157 (ASTM, 2000).
- Argamassa colante – Argamassa colante é a mistura utilizada para unir adequadamente unidades de alvenaria, sejam elas ocas ou maciças. A mistura foi preparada na proporção de 1:3 (1 cimento para 3 areia), com relação água/cimento de 0,6 e resistência de 2.500 psi ou 176 kg/cm². De acordo com a regulamentação, a resistência à compressão não deve ser inferior a 120 kg/cm² após 28 dias, e a junta nas paredes deve apresentar resistência à tração mínima de 3,5 kg/cm² (MTI 2007).
- Bloco vazado de concreto – são considerados blocos vazados aquelas unidades que apresentam em sua seção mais desfavorável uma área líquida de pelo menos 50% da área bruta e a espessura de suas paredes com um mínimo de 2,5 cm. Os diferentes corpos de prova (prismas e paredes pequenas) foram construídos com dois tipos de blocos, que foram adquiridos em uma fábrica de blocos (block factory), artesanal e uma semi-industrial. As unidades foram construídas de acordo com o Reglamento Nacional de la Construcción (MTI, 2007), e têm dimensões de 15 x 20 x 40 cm.

2.3 Metodologia

A metodologia utilizada nesta pesquisa para a preparação e ensaio dos prismas e paredes compreende as seguintes etapas: (1) seleção de 2 fabricas de blocos para revisão das capacidades de carga dos blocos, (2) seleção dos corpos de prova, (3) construção e ensaio dos corpos de prova e (4) análise dos resultados.

a) Seleção de fabricas de blocos

Com o apoio do Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), que forneceu uma lista atualizada de fabricantes de blocos registrados na região do Pacífico, tanto em Managua quanto nos arredores, foram selecionadas duas fábricas com reconhecimento popular no setor da construção. Uma dessas fábricas era artesanal e a segunda, semi-industrial. Os blocos para teste foram adquiridos dessas fábricas.

b) Seleção dos corpos de prova

Foram marcados in loco, em cada fábrica de blocos, cada um dos blocos empregados nos diferentes ensaios. Esses blocos foram marcados no dia da compra e permaneceram nas fábricas por três semanas, seguindo os procedimentos de armazenamento e cura de cada empresa. Ao final das três semanas, os espécimes foram removidos e transportados para o laboratório da Universidad Nacional de Ingeniería, onde os corpos de prova foram preparados e ensaios executados.

c) Elaboração e ensaio de corpos de prova

De acordo com a norma nacional " Norma mínima de diseño y construcción de mampostería MP-001" e a norma ASTM E519/E519M (ASTM, 2000), foram construídos 6 prismas e 7 paredes pequenas para ensaio. Os corpos de prova (prismas e paredes pequenas) foram construídos 28 dias após a compra dos blocos e curados em laboratório. A cura com água foi aplicada diariamente por um período de 21 dias.

Os ensaios foram realizados primeiramente em prismas de arranjo de blocos verticais (com 4 blocos sobrepostos conforme indicado pela norma), e posteriormente em paredes pequenas submetidas à compressão diagonal.

O ensaio de prisma atendeu aos seguintes requisitos: a espessura do prisma deve ser igual à espessura das paredes da estrutura (construção habitacional regular em Managua), o comprimento

do prisma deve ser maior ou igual à espessura e ao comprimento da unidade de alvenaria, a altura deve incluir no mínimo três fiadas de unidades de alvenaria (neste caso, foram utilizadas quatro fiadas = quatro blocos). Por fim, o valor do quociente entre altura e espessura deve estar na faixa de 2 a 5 (0,85 / 0,17 = 5) (MTI, 2017).

Os ensaios de parede atenderam aos requisitos, assim como os prismas. Eles foram construídos em laboratório, replicando as características e procedimentos típicos da construção na cidade. Para isso, foram envolvidos mestres de obras, que ergueram os corpos de prova (Figura 1). Os ensaios foram realizados em primas construídos com o mesmo tipo de peças, argamassa e técnica de fabricação. Antes dos ensaios, os cantos da diagonal de compressão foram revestidos com enxofre, mantendo uma camada de separação com espessura máxima de 5 mm. Durante os ensaios, a carga foi aplicada até a fratura dos corpos de prova (MTI, 2017) .

Figura 1. Processo de construção e ensaios em prismas e paredes pequenas(muretas).

De acordo com a norma ASTM E519 (ASTM, 2000) , podem ser ensaiados pelo menos 3 corpos de prova confeccionados com o mesmo tipo e tamanho de unidade de alvenaria, argamassa e mão de obra. Após a realização do ensaio, foram calculados os valores de resistência à compressão diagonal dos corpos de prova (Vm) e seu desvio padrão, considerando a carga máxima aplicada (Pmax), a espessura da parede (t) e o comprimento da diagonal (Lc) (Fernández Baqueiro, et al. 2009). As paredes foram ensaiadas submetendo-as a uma carga de compressão ao longo de sua diagonal (Figura 2) e a tensão de cisalhamento média foi determinada dividindo-se a carga máxima pela área bruta da parede medida na mesma diagonal (Tena Colunga, et al. 2007) , que será o resultado da multiplicação da espessura da parede pelo comprimento da diagonal sobre a qual a carga é exercida.

Para determinar a carga aplicada nas paredes, foi registrado o valor do manômetro analógico utilizado, utilizando a seguinte equação (1).

$$F = P * A \quad (1)$$

Onde:
F = Força ou Carga Aplicada
P = Pressão
A= Área efetiva do pistão ou macaco hidráulico (Valor)

A partir dessa conversão, foram calculados a carga axial máxima resistida em prismas e a resistência característica da alvenaria ao cisalhamento diagonal de compressão, utilizando as equações (2) e (3), respectivamente. Neste trabalho, a equação 2 foi modificada. Três corpos de prova foram considerados para o cálculo em vez de cinco.

$$f'm = x - 0.431(x3 - x1) \quad (2)$$

Onde:
$f'm$ = Resistência básica à compressão
x= Resistência à compressão média dos 3 prismas
x3, x1= Maior e menor valor de resistência dos ensaios

$$Vm = P/\,(t * Lc) \quad or \quad Vm = P/\,A \quad (3)$$

Onde:
Vm = Resistência à compressão diagonal
t= espessura do prisma
Lc = comprimento da diagonal

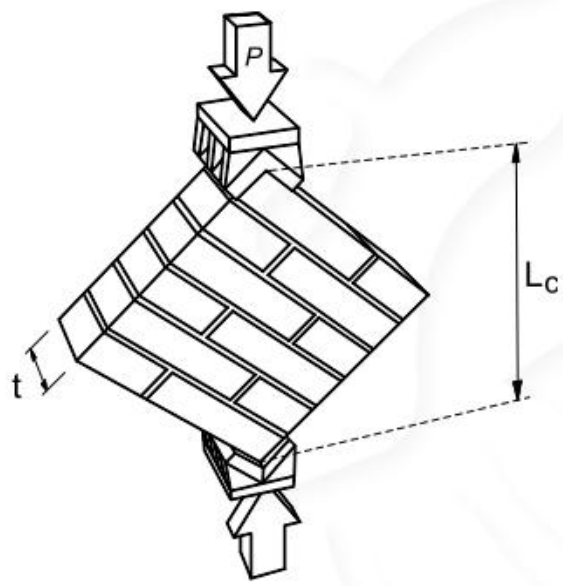

Figura 2. Posição do prisma(mureta) no ensaio. NMX-C-464 NMX-C-464-ONNCCE (2010)

3. RESULTADOS

3.1 Ensaio de prismas

Foram realizados seis ensaios em prismas confeccionados com blocos de concreto adquiridos de uma fábrica de blocos artesanal e de uma semi-industrial, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 1. Tipos de falhas em ensaios de prismas.

Não.	Código	Tipo de bloco	Data de preparação	Tipo de falha
1	BE-2-1	Estrutural	21/11/2017	Deslizamento/colapso
2	BE-2-2	Estrutural	21/11/2017	Deslizamento/colapso
3	BE-2-3	Estrutural	20/11/2017	Deslizamento/colapso
4	BNE-1	Não estrutural	21/11/2017	Deslizamento/colapso
5	BNE-2	Não estrutural	21/11/2017	Colapso
6	BNE-3	Não estrutural	20/11/2017	Colapso

Dois tipos de comportamento de falha foram observados nos ensaios (Tabela 1): falha por deslizamento e colapso. Dos seis corpos de prova, quatro apresentaram ambos os comportamentos, e dois apresentaram colapso, que ocorreu imediatamente devido à sua baixa resistência mecânica. Os prismas que apresentaram menor resistência foram confeccionados com blocos do tipo não estrutural (blocos artesanais), e aqueles que apresentaram maior resistência foram, segundo sua classificação de tipo estrutural, do tipo 2 (BE-2) (fabrica de blocos semi-industrial).

N°	Código	Tipo de bloco	Altura (cm)	Espessura (cm)	An / Área (cm^2)	P (Falha Inicial) (kg)	P.f (Colapso) (kg)	Resistência à compressão (kg/cm^2)	Data de preparação
1	BE-2-1	Estrutural	80,5	15	1207,5	38640	44160	36,6	21/11/2017
2	BE-2-2	Estrutural	80,5	15	1207,5	38640	44160	36,6	21/11/2017
3	BE-2-3	Estrutural	80,5	15	1207,5	44160	52440	43,4	20/11/2017
						Média	46920	38,9	
			C	X3-X1			Desvio padrão	4.0	
			0,431	6.9	f'm =	35,9	Erro	10.2	

As Tabelas 2 e 3 mostram que a resistência à compressão dos prismas (f´m) foi maior naqueles confeccionados com blocos estruturais, em comparação aos do tipo não estrutural. O baixo valor de erro indica que essas unidades de blocos apresentam valores de resistência à compressão homogêneos.

Tabela 3. Resistência à compressão de prismas feitos com bloco não estrutural

Não.	Código	Tipo de bloco	Altura (cm)	Espessura (cm)	An / Área (cm ^{2})	P (Falha Inicial) (kg)	P.f (Colapso) (kg)	Resistência à compressão (kg/cm ^{2})	Data de preparação
1	BNE-1	Não estrutural	80,7	15	1210,5	0	19320	16.0	21/11/2017
2	BNE-2	Não estrutural	80,7	15	1210,5	5520	8280	6.8	21/11/2017
3	BNE-3	Não estrutural	80,7	15	1210,5	0	8280	6.8	20/11/2017
						Média	11960	9.93.6	
			C	X3-X1			Desvio padrão	5.3	
			0,431	9.1	f'm =	5.9	Erro	53,3	

3.2 Ensaio de paredes pequenas (muretas)

Os ensaios nas paredes pequenas foram a conclusão de um processo iniciado em 2017. As paredes foram testadas por 950 dias. Sete paredes foram ensaiadas, seis medindo 1 x 1 m e uma medindo 80 x 80 cm. Os testes utilizaram uma estrutura de carga composta por um sistema hidráulico e um macaco hidráulico. Uma unidade de 55 toneladas com sua bomba correspondente e manômetro analógico, com capacidade de 10.000 psi. Os resultados são apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Resistência diagonal de paredes pequenas feitas com blocos estruturais.

Código	Bloco	Dimensões (cm)	Espessura t (cm)	Altura/Comprimento diagonal Lc (cm)	t* Lc (cm ^{2})	Carga (kg)	Vm (kg/ ^{cm2})	Data do ensaio	Tipo de falha
	Cara								
CA-01	Estrutural	100x100x15	15	145	2175	12519.2	5.8	27/05/2020	Tensão diagonal
CA-02	Estrutural	100x100x15	15	145	2175	17526,8	8.1	06/02/2020	Esmagamento
CA-03	Estrutural	100x100x15	15	145	2175	13520,7	6.2	06/02/2020	Combinado (tração e cisalhamento)
CA-04	Estrutural	100x100x15	15	145	2175	14021.5	6.4	06/03/2020	Cisalhamento - Adesão da argamassa
CA-05	Estrutural	80x80x15	15	117	1755	12519.2	7.1	06/05/2020	Cisalhamento - Adesão da argamassa
					Média	14021.5	6.7		
						Desvio padrão	0,9		
						Erro	13.3		

Tabela 5. Resistência diagonal de paredes pequenas feitas com blocos não estruturais

Código	Bloco	Dimensões (cm)	Espessura t (cm)	Altura/ Comprimento diagonal Lc (cm)	t* Lc (cm ^{2})	Carga (kg)	Vm (kg/ cm^2)	Data do ensaio	Tipo de falha
	Tipo								
CA-06	Não estrutural	100x100x15	14,5	145	2102,5	11517,63	5.5	21/5/2020	Tensão diagonal
CA-07	Não estrutural	100x100x15	14,5	145	2102,5	3755,74	1.8	06/05/2020	Tensão diagonal
						Média	3.6		
						Desvio padrão	2.6		
						Erro	71,9		

A coleta imediata de dados desses ensaios foi realizada por meio de um formulário de campo que permitiu o registro do tipo de falha e da pressão medida em cada caso. Das 7 paredes pequenas (seis de 1 x 1 m e uma de 0,8 x 0,8 m), três tipos de comportamento foram evidentes: falha por tração diagonal, falha por cisalhamento da aderência da argamassa e falha combinada (tração e cisalhamento). A falha mais recorrente foi a falha por cisalhamento, que ocorreu em 3 paredes pequenas (duas de 1 x 1 m e uma de 0,8 x 0,8 m). Um dos corpos de prova ensaiados falhou por esmagamento (bloco superior).

A resistência à compressão diagonal (Vm) foi maior nos corpos de prova confeccionados com blocos estruturais em comparação aos não estruturais. Semelhantemente ao observado com os valores de f´m, o erro obtido nas paredes confeccionadas com blocos estruturais foi menor do que naquelas confeccionadas com blocos não estruturais.

É importante destacar que estes ensaios foram realizados pela primeira vez na Universidad Nacional de Ingeniería, obtendo dados gerais sobre as falhas de paredes pequenas, especialmente aqueles construídos com bloco semi-industrial, classificados pela norma NTON quanto à sua resistência em Tipo Estrutural 2 (NTON 12 008, 2016) .

4. DISCUSSÃO

Na indústria da construção civil, considera-se que a resistência e a durabilidade das estruturas de alvenaria dependem em grande parte da qualidade dos tijolos. No entanto, a junta de argamassa também contribui significativamente para a resistência à compressão e a durabilidade de toda a estrutura de um edifício (Freeda Christy et al., 2013) . Nesse sentido, demonstrou-se que uma boa junta de argamassa com resistência adequada garante melhor comportamento sob esforços axiais. Os resultados sugerem comportamentos e valores médios de Vm variados, de 6,7 kg/cm² para blocos estruturais a 3,6 kg/cm² para blocos não estruturais.

Os resultados dos valores de f´m realizados por Tena et al., (2017) foram semelhantes aos apresentados neste trabalho. Eles fabricaram 10 prismas para cada tipo de peça de alvenaria e argamassa, resultando em um total de 120 amostras de alvenaria para ensaios de resistência à compressão. Em condições semelhantes às desta pesquisa, no trabalho de Tena et al., (2017) , a falha registrada nos prismas foi devido à tração lateral (tensão), que se inicia nas peças e passa pelas juntas de argamassa, o que é desejável em boas alvenarias, onde a premissa de projeto de argamassa fraca–peças fortes é atendida. Para calcular os resultados, eles usaram valores de P (carga axial máxima resistida), An (área bruta da seção transversal do pilar) e um valor ajustado da razão de esbeltez (para este caso h/b=3,12) (Tena Colunga, et al. 2007) .

No caso da amostra ensaiada nesta pesquisa, a carga máxima média foi de P= 46.920 kg para bloco estrutural e P=11.960 kg para bloco não estrutural, e a resistência à compressão básica obtida a partir do procedimento sugerido nas normas nacionais resultou em f'm = 35,9 kg/cm^2 e f'm = 5,9 kg/cm^2, respectivamente. O comportamento foi análogo em ambos os ensaios, comprovando que o bloco estrutural tipo 2 possui capacidades semelhantes ao realizado no México. Outro dado relevante foi a redução da carga axial máxima resistida pelos prismas com blocos não estruturais, que foi 4 vezes menor capacidade que a dos blocos estruturais.

Testes semelhantes foram conduzidos por pesquisadores na Cidade do México em dois arranjos de paredes, usando dois tipos de unidades (blocos de argamassa de cimento e tijolos de barro). Eles chegaram a conclusões importantes: o arranjo da parede é muito importante na determinação da resistência à tração diagonal, causando discrepâncias entre os resultados obtidos para os dois tipos de arranjos testados. As diferenças variam consideravelmente, com a resistência média de um deles sendo apenas 50% daquela obtida para o segundo. A diferença se deve ao fato de que o modo de falha dominante observado em ambos os arranjos foi diferente (Tena Colunga, et al. 2007).

Para as paredes pequenas (muretas) com arranjo 1, o modo de falha predominante foi o deslizamento da alvenaria (devido à fraca adesão entre a argamassa e as peças de alvenaria), enquanto nas paredes pequenas do arranjo 2 o modo de falha predominante foi a tração diagonal. Apenas uma das nove paredes pequenas falhou devido a tensões tangenciais nas juntas. As argamassas para os arranjos de paredes pequenas testadas sob compressão diagonal e outros ensaios (pesagem de 30 cubos) responderam às características de: peso volumétrico médio da argamassa γj = 1,57 ton/m³, resistência média f = 245,7 kg/cm², coeficiente de variação cj = 0,319 e seu índice de resistência de projeto f * j = 136,6 kg/cm². Este último foi superior aos 125 kg/cm^2 estabelecidos pelo NTCM-2004 para uma argamassa tipo I (Tena Colunga, et al. 2007) .

Outra investigação, na qual 12 paredes foram testadas, revelou valores de resistência à compressão diagonal variando de 1,83 a 3,43 kg/cm², obtendo um valor médio de 2,78 kg/cm² e um coeficiente de variação de 0,2, assumindo que a resistência à compressão diagonal segue uma distribuição normal. Foi determinado que a resistência à compressão diagonal da alvenaria depende da ligação bloco-argamassa, uma vez que a falha ocorreu na junta em todos os casos. O módulo de cisalhamento médio da alvenaria foi de 16,71 kg/cm², correspondendo a 42% do módulo de elasticidade médio da alvenaria na região (Fernández Baqueiro, et al. 2009) .

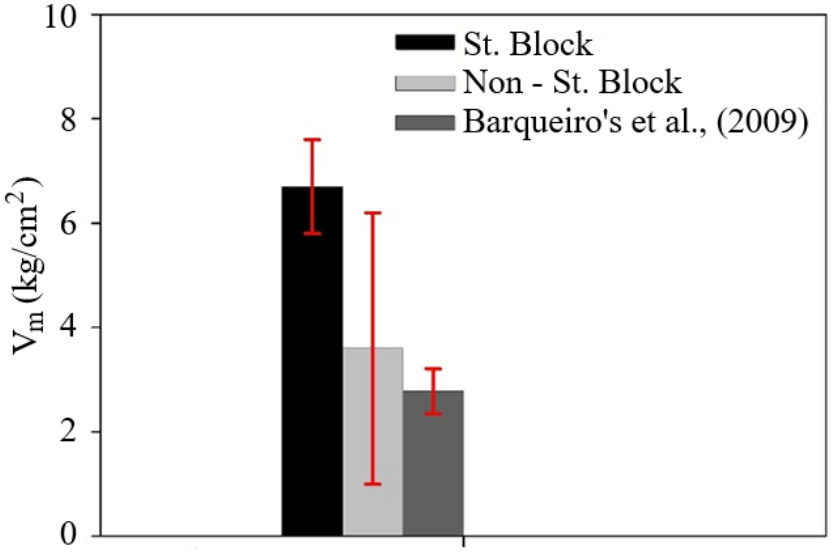

Figura 3. Comparação dos resultados de resistência à compressão diagonal obtidos com os de Baqueiro´s et al (2009).

A Figura 3 mostra que a resistência à compressão diagonal das paredes com bloco estrutural foi 2,4 vezes maior que o resultado obtido por Fernández Baqueiro et al., (2009) . No entanto, em paredes feitas com bloco não estrutural, elas foram semelhantes. Isso mostra que a capacidade resistente do bloco estrutural tipo 2 tem uma boa resposta a uma carga axial. A falha na junta está diretamente relacionada à argamassa de junta das unidades para a conformação da parede. Para fins de ensaio a parede mostra grande importância no comportamento final sob a ação de uma força de cisalhamento. A resistência indicada na norma MP-001 (MTI, 2017) , para a argamassa de junta, indica que deve haver uma correspondência entre a resistência à compressão da argamassa e a resistência à compressão da unidade de alvenaria utilizada, mas em qualquer caso, este valor não pode ser inferior a 58 kg/cm².

Os resultados obtidos nesta pesquisa, comparados com o número de corpos de prova ensaiados pelos pesquisadores mencionados neste artigo, mostram semelhanças no comportamento e na resistência diagonal, que, neste caso, situa-se entre 1,8 kg/cm² (bloco não estrutural) e 8,1 kg/cm² (bloco estrutural). Outro comportamento análogo ao demonstrado nos resultados de Tena et al. (2017) é a ruptura por cisalhamento na aderência entre o bloco e a argamassa de junta, que é uma tendência, sendo a principal causa de ruptura em paredes.

Tanto no ensaio de prisma quanto no de parede pequena, constatou-se que os corpos de prova construídos com o bloco artesanal, que correspondem ao tipo não estrutural, apresentaram, de modo geral, tendências de falha mais imediatas, com resistência, inclusive, menor que a da argamassa de assentamento.

5. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo mostram três tipos de falha de paredes, sendo a falha por cisalhamento a mais comum devido à má aderência da argamassa, seguida pela falha combinada e falha por tração diagonal. Vale ressaltar que 50% das paredes construídas com blocos estruturais Tipo 2 (de uma fábrica de blocos semi-industrial) falharam devido ao cisalhamento, enquanto as duas paredes construídas com blocos não estruturais (de uma fábrica de blocos artesanal) falharam devido à tração diagonal.

Os padrões de falhas observados e suas causas imediatas fornecem informações valiosas para reduzir a vulnerabilidade estrutural de edifícios, representando um esforço significativo para mitigar riscos, particularmente os sísmicos, na Nicarágua.

Os valores de referência para a resistência à compressão diagonal da alvenaria sugerem um valor de projeto de 1,80 kg/cm², inferior aos resultados experimentais obtidos (6,7 kg/cm²). No entanto, são necessários mais testes com blocos estruturais Tipo 2 de fabricantes de blocos de concreto semi-industriais para determinar este valor, levando em consideração os materiais de construção disponíveis localmente. Essas considerações e resultados contribuem para a redução da vulnerabilidade estrutural dos edifícios, com base no conceito de projeto estrutural e no uso adequado de materiais, especialmente para esta tipologia habitacional.

6. REFERÊNCIAS

Aguilar Arriola, E. J. (2016). "*Importancia de La Vulnerabilidad Estructural de La Vivienda Unifamiliar En El Riesgo Urbano. Modelo de Estudio Ciudad de Managua, Nicaragua*." Revista de Urbanismo 0(35). https://revistaurbanismo.uchile.cl/index.php/RU/article/view/43090

Argento, R. S., Ferreyra, J., Murdoch Anderson, A, Carrasco, M. F., González, A., Grether, R. M. (2019). "*Residuos de Desmote de Algodón Aglomerados: Su Producción y Aplicación En La Construcción de Viviendas*." Ambiente Construído 19(3):127–45. https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000300329

American Society for Testing and Materials (2000). *Annual Book of ASTM Standards, Section Four*, Construction, Volume 04.2 Construction, Concrete and Aggregates. USA: ASTM.

Bonett Díaz, R. L. (2003). "*Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de Edificios, Aplicación a Entornos Urbanos En Zonas de Amenaza Alta y Moderada.*" Universidad Politécnica de Cataluña.

Fernández Baqueiro, L., Marín Gómez, F., Varela Rivera, J. y Vargas Marín, G. (2009). *Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto.* Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 13-2, pp. 41-50, ISSN: 1665-529X.

Freeda Christy, C., Tensing, D., Mercy Shanthi, R. (2013). "*Experimental Study on Axial Compressive Strength and Elastic Modulus of the Clay and Fly Ash Brick Masonry*." Journal of Civil Engineering and Construction Technology, 4(4):134–41. https://academicjournals-org.webpkgcache.com/doc/-/s/academicjournals.org/article/article1379608865_Freeda%20et%20al.pdf

Hernández, E. (2017). *Construcción durable - Una visión de futuro para Nicaragua.* Revista Arquitectura +, 2(4), 8–12. https://doi.org/10.5377/arquitectura.v2i4.9139

MTI. 2007. "*Reglamento Nacional de Contrucción*." 156.

MTI. 2017. "*Norma Mínima de Diseño y Construcción de Mampostería (MP-001)*." Ministerio de Transporte e Infraestructura 1–58.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (2011). *NMX-C-464-ONNCCE-2010 - Industria de la Construcción-Mampostería-Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, asi como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto.* Comité técnico de normalización de productos, sistemas y servicios para la construcción.

NTON 12 008. 2016. "*Materiales de Construcción. Bloque Hueco y Sólido a Base de Cemento y Agregados Pétreos. Requisitos y Evaluación de La Conformidad*."

Pujol, S., Rodriguez, M. E. (2019). *Evaluación del comportamiento de muros no estructurales en edificios de la ciudad de México en el terremoto del 19 de septiembre 2017.* Revista Ingeniería Sísmica, (101), 53–66. https://doi.org/10.18867/ris.101.529

Ruíz Valverde, H. Y., Morales Leiva, F. (2018). *"Vulnerabilidad estructural en viviendas de interés social hechas con bloques de concreto en managua."* Universidad Nacional de Ingeniería.

Sánchez Tizapa, S., Villaseñor Franco, A., Guinto Herrera, E., Barragán Trinidad, R., Mebarki, A. (2017). *Propuesta de valores de referencia para la resistencia de diseño a compresión diagonal y compresión de la mampostería en el estado de Guerrero, México.* Revista ALCONPAT, 7(3), 231 - 246. https://doi.org/10.21041/ra.v7i3.159

Tena, A., Liga, A., Pérez, A., González, F. (2017). *Propuesta de mejora de mezclas para producir piezas de mampostería de concreto empleando materiales comúnmente disponibles en el Valle de México*. Revista ALCONPAT, 7(1), 36-56. https://doi.org/10.21041/ra.v7i1.170

Tena Colunga, A., Juárez Ángeles, A., Salinas Vallejo, V. H. (2007). *Resistencia y deformación de muros de mampostería combinada y confinada sujetos a cargas laterales.* Revista Ingeniería Sísmica, (76), 29–60. https://doi.org/10.18867/ris.76.58