

## Proposta de valores de referência para resistência ao projeto de compressão diagonal e compressão da alvenaria no estado de Guerrero, no México

S. Sánchez-Tizapa<sup>1\*</sup>, A. Villaseñor-Franco<sup>1</sup>, E. Guinto-Herrera<sup>1</sup>, R. Barragán-Trinidad<sup>2</sup>, A. Mebarki<sup>3</sup>

\*Autor de Contacto: [stizapa@uagro.mx](mailto:stizapa@uagro.mx)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.159>

Recepción: 14/12/2016 | Aceptación: 09/08/2017 | Publicación: 29/09/2017

### RESUMO

O objetivo deste artigo é propor valores de resistência ao projeto à compressão diagonal e compressão da alvenaria no Estado de Guerrero, México. Para isso, a informação histórica experimental de 16 anos foi normalizada. Considerando as características dos dados, os resultados foram avaliados por comparação de valores e análise de coeficientes de variação. Do primeiro parâmetro, foram propostos 0,45 MPa e 0,20 MPa em alvenaria maciça recozida e blocos ociosos presos com argamassas tipo I e II; Na alvenaria de partição e argamassa tipo I, foi proposto 0,45 MPa. Em relação ao segundo parâmetro, o valor sugerido é de 1,9 MPa para todas as peças e argamassas. Os resultados servirão como um guia de projeto e revisão em construções de alvenaria.

**Palavras-chave:** resistência ao projeto; construções de alvenaria; normatividade; risco sísmico; Guerrero.

**Citar como:** S. Sánchez-Tizapa, A. Villaseñor-Franco, E. Guinto-Herrera, R. Barragán-Trinidad, A. Mebarki (2017), “Proposta de valores de referência para a resistência do projeto à compressão diagonal e compressão da alvenaria no estado de Guerrero, no México.”, Revista ALCONPAT, 7 (3), pp. 231-246, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.159>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería-Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Cuerpo Académico Riesgos Naturales y Geotecnología-UAGRO-CA-93, México.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería-Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Cuerpo Académico Calidad de los Materiales de Construcción- UAGRO-CA-107, México.

<sup>3</sup> Laboratoire de Modélisation et Simulation Multi-Échelle (MSME)-UMR8208 CNRS, Université Paris-Est, Cité Descartes, France.

### Informações legais

ALCONPAT Magazine 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, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Website: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Responsável pela última atualização desta questão, ALCONPAT IT Unit, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

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

É totalmente proibida a reprodução total ou parcial dos conteúdos e imagens da publicação sem autorização prévia do ALCONPAT International A.C.

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada na segunda edição do ano de 2018, desde que a informação seja recebida antes do encerramento do primeiro ano de 2018.

## A proposal of reference values for diagonal compressive strength and compressive strength of masonry design in Guerrero state, Mexico.

### ABSTRACT

In this paper, reference values for diagonal compressive strength (DCS) and compressive strength (CS) of masonry design were obtained in Guerrero State (Mexico). Thereby, results of masonry testing programs during the last 16 years were studied by using a statistical analysis. DCS values of 0.45 MPa for solid clay brick masonry and 0.20 MPa for hollow concrete block masonry, by using mortar type I or II, were calculated; in solid concrete block masonry with mortar type I, DCS was 0.45 MPa. In addition, for masonry elaborated with any type of masonry piece and mortar (I or II), CS had a value equal to 1.9 MPa. These calculated values can be used for both masonry design and revision of masonry buildings.

**Keywords:** design resistance; masonry constructions, normativity; seismic risk, Guerrero

### Propuesta de valores de referencia para la resistencia de diseño a compresión diagonal y compresión de la mampostería en el estado de Guerrero, México

### RESUMEN

El objetivo del presente artículo es proponer valores de resistencia de diseño a compresión diagonal y compresión de la mampostería en Guerrero. Para esto se normalizó la información histórica experimental de 16 años. Considerando las características de los datos se evaluaron los resultados mediante comparación de valores y análisis de coeficientes de variación. Del primer parámetro se propuso 0.45 MPa y 0.20 MPa en mampostería de tabique recocido y bloques huecos pegada con morteros tipos I y II; en mampostería de tabicón y mortero tipo I se propuso 0.45 MPa. Respecto al segundo parámetro, el valor sugerido es 1.9 MPa para todas las piezas y morteros. Los resultados servirán como una guía de diseño y revisión en construcciones de mampostería.

**Palabras clave:** resistencia de diseño; construcciones de mampostería; normatividad; riesgo sísmico; Guerrero.

### 1. INTRODUÇÃO

A alvenaria é integrada por peças sólidas ou vazias (de concreto ou argila) coladas com argamassa, que é feita de agregado fino e cimento, às vezes, adiciona-se cal; pode haver reforço vertical e horizontal, elementos de concreto de reforço verticais e horizontais reforçados de pequena seção transversal ou sem reforço. Este sistema nas suas várias formas é um dos mais utilizados na construção de casas e edifícios de baixa altura (Tomazevic, 2006).

No México, os edifícios de alvenaria são frequentemente danificados por terremotos. Por exemplo, há registros de afeições no simo de Manzanillo em 1995 (Juárez et al., 1997); Caleta de Campos em 1997 (Rodríguez et al., 1998); Tehuacán e Oaxaca em 1999 (Alcocer et al., 2002, Alcocer et al., 1999) e Tecomán em 2003 (Alcocer et al., 2003). Recentemente, o terremoto de 4 de abril de 2010, com  $M = 7.2$  e epicentro na vizinhança de Mexicali, Baixa Califórnia, causou a falha por cisalhamento nas paredes perimetrais curtas do Hospital ISSSTECALI, Figura 1a.

As casas também apresentaram danos, especialmente na direção transversal, onde há menos comprimento de paredes associadas ao projeto arquitetônico; A Figura 1b mostra a falha de corte em paredes feitas com blocos de concreto oco (Rangel et al., 2011, Martínez e Martínez, 2010).



Figura 1. Danos às paredes de alvenaria no terremoto de Mexicali, na Baja California (Martínez e Martínez, 2010): a) Paredes perimetrais curtas, b) Casa-sala

Nessa mesma ordem, algumas construções de alvenaria no estado de Guerrero foram afetadas por dois terremotos ocorridos nos últimos seis anos. O primeiro aconteceu em 2011, com  $M = 6.5$  e epicentro na área montanhosa da Serra Madre del Sur, a 62 km da cidade de Chilpancingo. Isso gerou danos aos edifícios históricos e a vários edifícios mais recentes localizados na cidade, Figura 2a, (Arroyo-Matus et al., 2014). O segundo terremoto ocorreu em agosto de 2013,  $M = 6,0$ , com epicentro a leste da cidade de Acapulco, embora nenhum dano tenha sido reportado em lares ou edifícios, houve danos não estruturais em hospitais nesta cidade. A Figura # 2b mostra a falha das paredes divisórias de alvenaria na tensão diagonal do Hospital Donato G. Alarcón (Sánchez-Tizapa, 2013).

Por outro lado, considerando que a alvenaria é uma combinação de diferentes materiais, sua falha depende de vários fatores:

- a) Existência ou não de armadura de reforço (aço horizontal e vertical, elementos de borda);
- b) Características de forma (geometria) das paredes;
- c) Características mecânico-geométrico-físicas das peças, incluindo a rugosidade
- d) Tipo e magnitude da sollicitação;
- e) Características físico-mecânicas da argamassa;
- f) Relação entre as características mecânicas da argamassa e as peças;
- g) Nível de saturação das peças quando esticadas.



Figura 2. Danos nas paredes de alvenaria: a) Em Chilpancingo, Gro. (Arroyo-Matus et al., 2014), b) No Hospital Donato G. Alarcón de Acapulco, Gro. (Sánchez-Tizapa, 2013)

Sob esta consideração, as falhas da alvenaria são tensão ou falta de adesão na articulação, tensão diagonal (fissuração da peça e / ou argamassa, separação de peças) e compressão. A envoltória de capacidade de alvenaria é mostrado na Figura 3 (Mann e Muller, 1982, Crisafulli, 1997, Flores et al., 2013).

Para conhecer os valores da referida curva, devem ser realizados pelo menos quatro tipos de testes, dos quais o código mexicano propõe três: aderência-cisalhamento (Zona 2), compressão diagonal (Zona 3) e compressão (Zona 4), (NTCDCM, 2004, NMX-C-082-ONNCCE-2013, 2013, NMX-C-464-ONNCCE-2010, 2010).

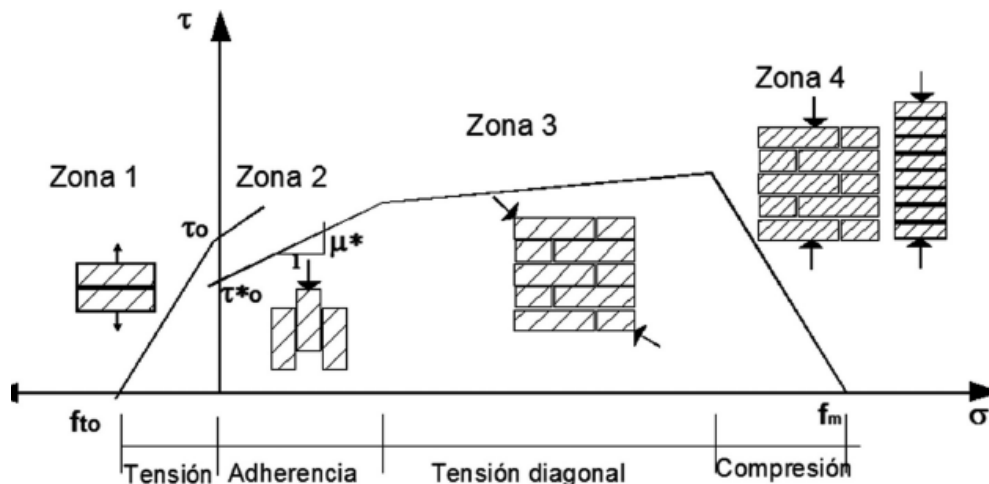


Figura 3. Envoltória e tipos de testes em corpos de prova de alvenaria (Flores et al., 2013)

Em outra ordem, o estado de Guerrero tem um problema complexo: por um lado, existe um alto perigo sísmico associado à localização geográfica e, por outro lado, as propriedades mais importantes para o projeto da alvenaria são desconhecidas. As variáveis mais significativas, normalmente utilizadas no projeto, são a resistência à compressão diagonal e normal (Zonas 3 e 4 da Figura 3). Dada a falta de conhecimento e / ou falta de valores locais, os designers usam os padrões técnicos complementares da Cidade do México (NTCDCM, 2004), que podem ser diferentes dos valores experimentais registrados (Flores et al, 2013).

Além disso, os referidos padrões especificam um valor máximo de 0,34 MPa da resistência à compressão diagonal, o que é insuficiente em relação às altas exigências de projeto definidas nas regulamentações locais e impede a construção de construções maiores que três níveis.

O estudo desenvolvido aqui é justificado pelo uso extensivo de alvenaria em suas diferentes modalidades e peças utilizadas para sua elaboração, ver Figura 4. Uma amostra aleatória feita em 10 blocos (431 construções) da cidade de Chilpancingo, Gro. Indica que A alvenaria de vedação vermelha e confinada é predominante.

Os valores médios por tipo de material e estrutura são 81,4% de paredes de alvenaria confinadas (M1), 7% de paredes e / ou armações de concreto armado (M2), 3,7% com paredes de adobe (M3) e 7,9% de outros materiais (aço e materiais provisórios, M4), ver Figura 5. Com relação às peças de alvenaria, predominou a bloco maciço de argila recozida; os valores médios são 82% blocos maciços de argila recozida, 7,8% de peças de concreto (maciços e / ou blocos) e em 10,2% não foi possível identificar o material.



Figura 4. Construções típicas de alvenaria confinada

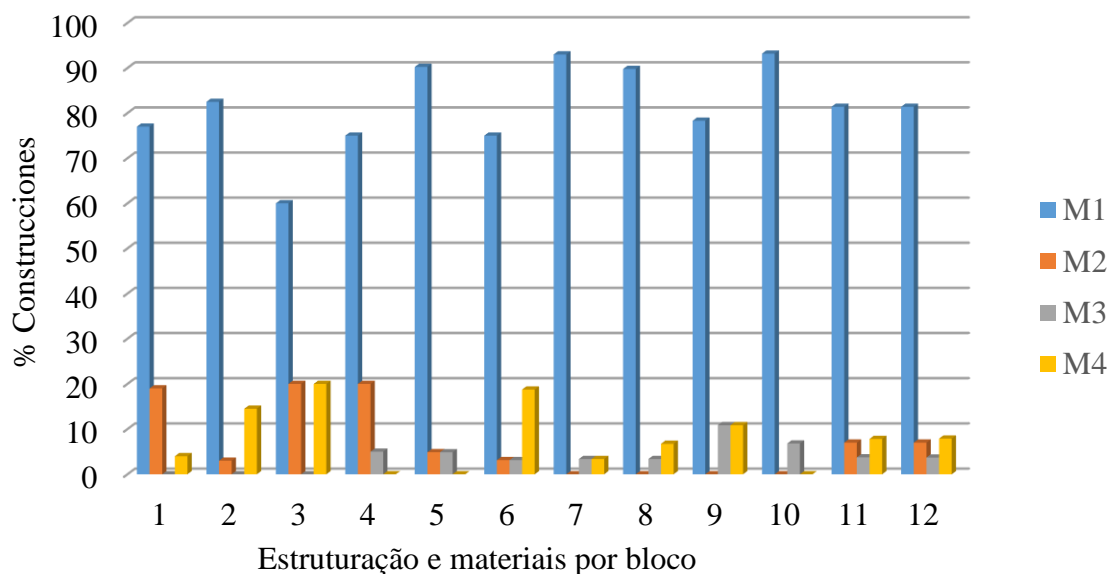


Figura 5. Distribuição percentual de materiais de construção



## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Objetivo

Propor valores de referência para a resistência do projeto à compressão e compressão diagonal com base em informações experimentais históricas com base na resistência à compressão da argamassa e nas peças utilizadas.

### 2.2 Padronização de informações experimentais históricas

Um total de 13 investigações experimentais foram analisadas, que foram realizadas entre os anos 2000-2016. A Tabela 1 e a Figura 6 mostram a relação e o tipo de informação obtida, bem como a origem das peças. Os materiais e dosagens utilizados na elaboração de espécimes referenciados foram aqueles comumente usados na construção de alvenaria nas diferentes cidades do estado (Caballero, 2016).

A normalização da informação foi realizada mediante a elaboração de uma Tabela mostrada na Figura 7, onde são apresentadas as características físico-mecânicas dos componentes (areia, argamassa e peças) e da alvenaria (resistência à compressão em prismas e resistência a compressão diagonal nas paredes).

Dos 13 estudos consultados, foram preparadas 43 Tabelas similares à Figura 7. As siglas significam: MF, módulo de finura da areia; PVSS, peso volumétrico seco solto da areia; Cvr, coeficiente de variação real; Cvn, coeficiente de variação normativa; fj, resistência compressiva média da argamassa; fj \*, resistência de projeto à compressão da argamassa; fp, resistência média à compressão da peça; fp \*, resistência do projeto à compressão da peça; fm, resistência compressiva média da alvenaria; vm, resistência média à compressão diagonal da alvenaria. O título da Tabela contém o número progressivo, o tipo de peça analisada, autor e ano de estudo.

Tabela 1. Relação de informação experimental histórica analisada (Caballero, 2016)

#/Autor / Fecha	Testes em componentes e tipos de peças			Testes em alvenaria		
	Arena	Mortero	Piezas	Pilas	Muretes	
1 Salgado (2000)	●	Si	Si	No/TR	No	Si
2 Navez (2002)	●	Si	Si	No/TR, T, B	Si	Si
3 Tavares (2004)	●	Si	Si	Si/B	Si	No
4 Muñoz (2007)	●	Si	Si	Si/TR	Si	Si
5 Mayo y Nava (2012)	●	Si	Si	No/TR	Si	Si
6 Cruz (2012)	●	No	Si	Si/B	Si	Si
7 Contreras y Hernández (2012)	■	Si	Si	Si/TR, T, B	Si	Si
8 Basurto (2013)	■	Si	Si	Si/T, B	Si	Si
9 Encarnación y Palacio (2013)	■	Si	Si	Si/TR, T, B	Si	Si
10 Juárez (2013)	■	No	Si	Si/B	Si	Si
11 Ramos (2014)	■	Si	Si	Si/TR	Si	Si
12 López (2014)	●	No	Si	Si/TR	Si	Si
13 Altamirano (2016)	●	Si	Si	Si/T	Si	Si

TR: Bloco maciço de argila recozida vermelha, T: Bloco maciço de concreto, B: bloco oco

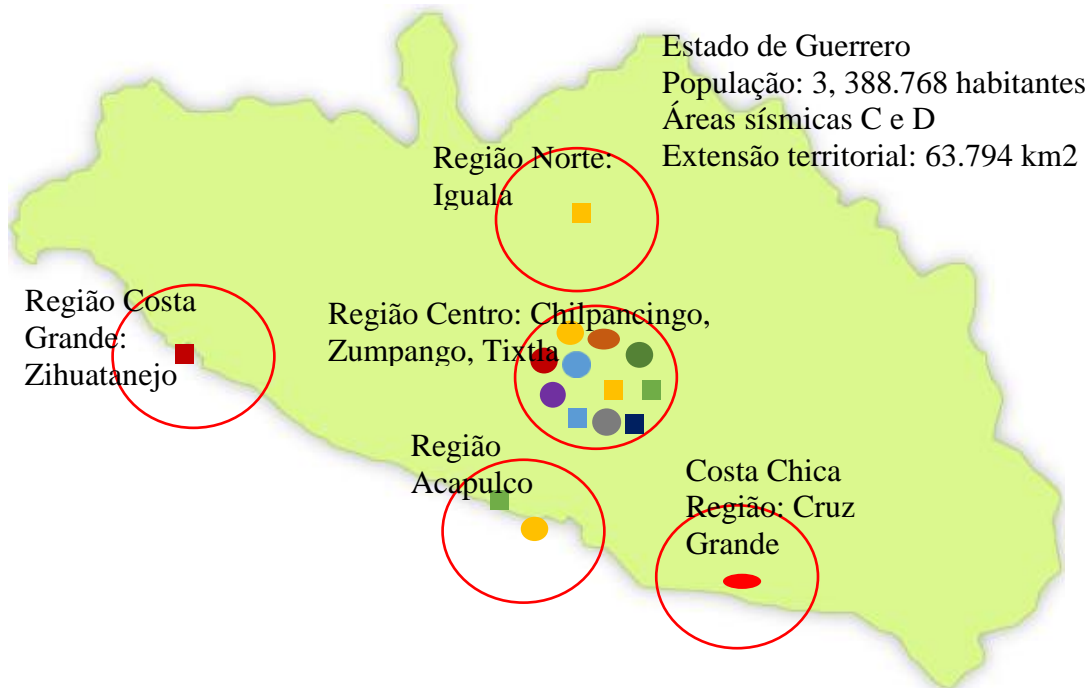


Figura 6. Origem das peças de alvenaria estudadas (Caballero, 2016)

Certificado n° 21. Pele de argila recozida de Atliaca, Gro. (Mayo e Nava, 2012). Unidades: MPa, m.							
ARENA		PILAS			MURETES		
MF	2.95	N.º	Dimensão	f <sub>m</sub>	N.º	Dimensão	v <sub>m</sub>
PVVS	164.59 KN/m <sup>3</sup>	1	0.26x0.24	4.39	1	0.41x0.37	1.29
Densidad	2.51	2	0.26x0.21	2.82	2	0.40x0.36	1.45
Banco		3	0.26x0.24	2.73	3	0.41x0.37	1.35
Absorción (%)	1.15	4	0.25x0.23	4.29	4	0.41x0.37	1.70
MORTERO		5	0.25x0.23	2.98	5	0.40x0.36	1.51
Dosificación	1:0:2	6	0.26x0.22	4.71	6	0.40x0.36	1.58
C <sub>jr</sub>	0.10	7	0.26x0.23	2.97	7	0.38x0.36	1.47
C <sub>jn</sub>	0.20						
f <sub>j</sub>	22.38						
f <sub>j</sub> <sup>*</sup>	14.92						
PEÇAS							
Tipo	Tabique						
absorção, %							
C <sub>pr</sub>							
C <sub>pn</sub>			f <sub>m</sub>	3.55		v <sub>m</sub>	1.48
f <sub>p</sub>			C <sub>mr</sub>	0.25		C <sub>vr</sub>	0.09
f <sub>p</sub> <sup>*</sup>			C <sub>mn</sub>	0.15		C <sub>vn</sub>	0.20

Figura 7. Tabela de identificação para informações (Caballero, 2016)

Na Figura 7, o primeiro subíndice dos coeficientes indica o tipo de peça de teste: argamassa (j), peça (p), pilha (m) e parede baixa (v), e o segundo subíndice indica se é real (r) ou nominal (n). De acordo com a informação obtida, na maioria dos casos a argamassa foi feita com cimento e areia, mas também pode conter lima. Assim, a dosagem da argamassa em volume expresso no certificado tem três partes correspondentes às unidades de cimento, lima e areia, respectivamente.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Valores médios das propriedades mecânicas

De acordo com o padrão, a argamassa Tipo I tem uma força de projeto igual ou maior que 12,3 MPa. Com 156 dados gravados e independentemente do tipo de peça, a equação 1 foi utilizada para avaliar a resistência à compressão do projeto,  $f_j^* = 16,98$  MPa, nesta equação,  $C_j$  é o coeficiente de variação maior ou igual a 0,20 (NTCDCM, 2004). A proporção média em volume para obter essa resistência foi de 1: 0,05: 2,82 (cimento: cal: areia), o coeficiente experimental histórico ( $C_{jr}$ ) registrou 21%. Da mesma forma, a partir da argamassa tipo II, foram obtidos 77 dados, a resistência à compressão do projeto foi  $f_j^* = 10,0$  MPa com um coeficiente de variação  $C_{jr} = 14\%$ , ver figura 8.

$$f_j^* = f_j / (1 + 2.5 C_j) \quad (1)$$

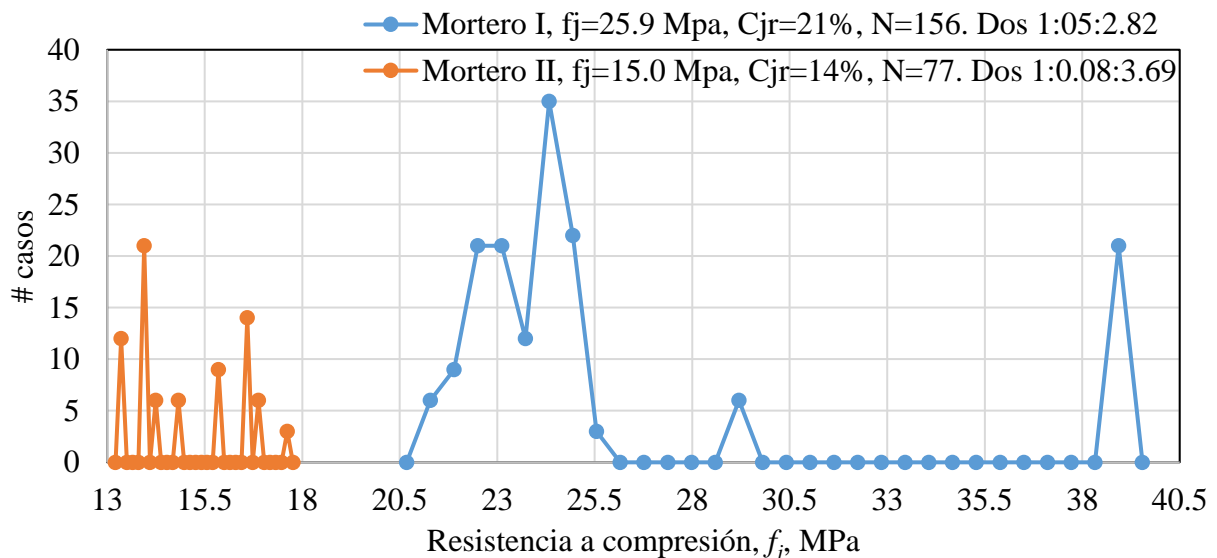


Figura 8. Polígonos de frequências de resistência à compressão em argamassas I e II

A partir da análise estatística, foram obtidos os parâmetros de projeto da argamassa e a peça mostrada na Tabela 2. Devido à natureza dos dados, a resistência ao projeto de compactação e compressão diagonal não pôde ser avaliada, definindo as variáveis  $fm1^{**}$  e  $vm1^{**}$ , respectivamente. Na equação 1 utilizada, o valor médio e o maior coeficiente de variação (experimental ou normativo,  $C_p$ ,  $C_j$ ,  $C_m$ ,  $C_v$ ) do parâmetro em estudo foram substituídos. Considerando que os dados aqui utilizados pertencem a diferentes séries de ensaios em um período de 16 anos, é conveniente usar um critério de avaliação apropriado. Para a resistência à compressão, o regulamento colombiano (NSR-98, 1998) propõe 70% do valor médio histórico como valor de projeto quando há entre 10 e 30 resultados com a condição de que o coeficiente de variação seja inferior a 30% os parâmetros  $fm2^{**}$  e  $vm2^{**}$  da Tabela 2 foram obtidos com este critério.



Tabela 2. Parâmetros de projeto de peças e alvenaria (MPa)

Pieza	Mortero	Mortero		Pieza		Alvenaria					
		C <sub>j</sub>	f <sub>j</sub> *	C <sub>p</sub>	f <sub>p</sub> *	C <sub>m</sub>	f <sub>m1</sub> **	f <sub>m2</sub> **	C <sub>v</sub>	v <sub>m1</sub> **	v <sub>m2</sub> **
Tabique	I	0.20	16.56	0.35	2.15	0.21	1.86	1.99	0.23	0.45	0.50
	II	0.20	10.52	0.35	3.52	0.21	2.03	2.17	0.22	0.46	0.50
Tabicón	I	0.20	17.90	0.30	7.48	0.21	1.89	2.02	0.21	0.55	0.59
Bloco	I	0.20	17.66	0.30	3.87	0.19	1.87	1.93	0.22	0.23	0.25
	II	0.23	8.89	0.30	5.01	0.15	2.91	2.80	0.24	0.40	0.45

A distribuição diagonal de resistência à compressão,  $v_m$ , é mostrada nas Figuras 9 e 10 para ambas as argamassas para cada tipo de peça. Nos gráficos, o número de dados, os valores médios da resistência à compressão da junta ( $f_j$ ) e parte ( $f_p$ ), bem como a dosagem da argamassa são apresentados. Os coeficientes de variação experimental com as argamassas tipo I e II foram 23% e 22% no bloco, 21% e 26% na partição, 22% e 24% no bloco, respectivamente. O padrão propõe um valor mínimo igual a 20%.

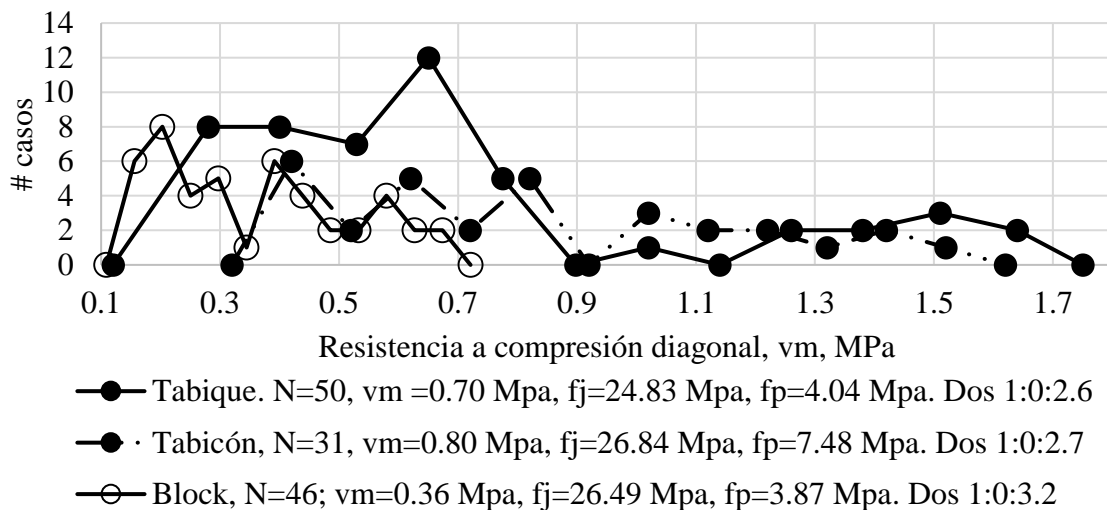


Figura 9. Polígonos de frequência de resistência à compressão diagonal com argamassa de tipo I

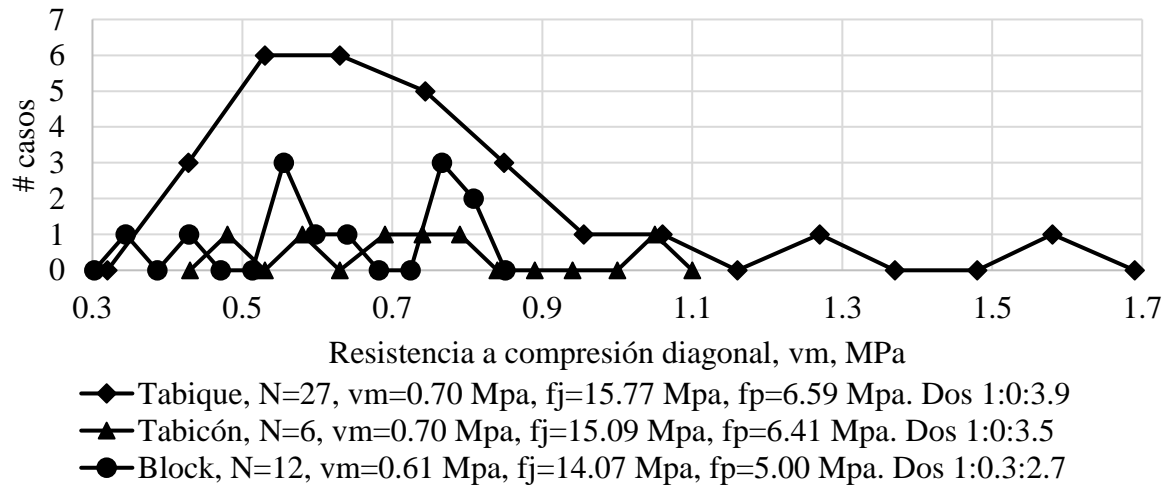


Figura 10. Polígonos de frequência de resistência à compressão diagonal com argamassa tipo II

### 3.2 Comentaríos

A Tabela 3 mostra os valores de resistência de compressão diagonal máxima registrados, cada linha foi obtida com a normalização da informação, veja a Figura 7. O valor máximo,  $v_{m1}^{**} = 0,99$  MPa, foi obtido bloco de argila vermelha recozida saturado 24 horas e unido com argamassa de tipo I de resistência compressiva  $f_j^* = 14,92$  MPa, caso (2). O caso (3), com  $v_{m1}^{**} = 0,79$  MPa, é o estresse máximo para juntas coladas com uma argamassa de comprovação de compressão de construção  $f_j^* = 16,2$  MPa, força de compressão de projeto de parte  $f_p^* = 3,1$  MPa e absorção igual a 5%. Para os blocos ocos, o valor máximo foi  $v_{m1}^{**} = 0,40$  MPa, com valores de resistência de projeto à compressão da argamassa e peças iguais a 9,34 MPa e 2,35 MPa, respectivamente, caso (4).

Tabela 3. Análise da resistência à compressão diagonal (MPa)

Pieza	Mortero	Linha	MF	$f_j^*$	$f_p^*$	Absorción %	$v_{m1}^{**}$
Tabique	I	1	2.00	13.99	5.88	22.94	0.22
		2	2.13	16.15	2.55	21.50	0.25
		3	2.85	16.54	0.86	28.40	0.47
		4	2.95	14.77	S/D	S/D	0.51(1)
		5	2.95	14.92	S/D	S/D	0.99(2)
	II	6	2.00	9.88	5.88	22.94	0.43
		7	3.07	10.53	2.35	26.36	0.47
		8	3.07	8.86	2.35	26.36	0.57
Tabicón	I	9	2.13	16.15	2.09	20.20	0.35
		10	2.30	15.89	7.30	15.00	0.70
		11	2.13	16.15	3.05	5.10	0.79(3)
	II	12	3.53	11.26	2.53	8.93	0.37
		13	2.00	8.86	4.79	19.07	0.52
Bloco oco	I	14	2.30	19.55	1.08	12.00	0.11
		15	3.53	15.77	1.37	7.94	0.15
		16	S/D	16.70	4.57	S/D	0.37
	II	17	S/D	9.34	2.35	S/D	0.40(4)

Os limites das variáveis e a resistência do projeto à compressão diagonal ( $v_m^*$ ) são definidos no padrão. Por outro lado, o intervalo dos valores do módulo de finura da areia está entre 1,75 e 2,83, de acordo com as curvas granulométricas do padrão (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014). As células de laranja indicam valores inferiores aos normativos, ao contrário das células verdes. Nesta Tabela # 3 observam-se outros pontos interessantes, no caso (1), a mesma argamassa e partes do caso foram utilizadas (2), a diferença é que as peças foram molhadas antes de elaborar os espécimes em vez de saturar 24 horas, que diminuíram a resistência em 50%. Como é observada, a relação entre as características dos componentes (agregados-cimento-peça) que permite obter um valor aceitável da resistência à compressão diagonal é complexa, existem pelo menos quatro variáveis físico-mecânicas a serem avaliadas, além da qualidade na Elaboração de paredes baixas e controle de ensaios.

A primeira variável é o módulo de finura da areia (MF), as duas seguintes são a resistência à compressão de projeto da argamassa ( $f_j^*$ ) e a peça ( $f_p^*$ ), a última é a absorção da peça. Na primeira linha observa-se que as quatro variáveis estão dentro dos limites, enquanto que no segundo a resistência da peça é inferior ao valor normativo; Em ambos os casos, a resistência diagonal de projeto de compressão ( $vm^*$ ) não é alcançada. Para a terceira linha, o valor desejado foi obtido sem preencher 3 de 4 variáveis. Na sexta linha, todos os parâmetros são atendidos, no entanto, nos últimos dois, apenas um dos quatro foi encontrado, no entanto, em ambos os casos, o valor normativo foi alcançado. Cinco casos são apresentados na caixa, em quatro deles duas variáveis foram cumpridas, na restante uma única variável não cumpre e para todo o valor desejado é atingido. Finalmente, no bloco oco apenas com argamassa tipo II, a força desejada é alcançada.

De acordo com os resultados, para o caso da bloco recozida vermelho, o aumento da resistência à compressão da argamassa não aumenta significativamente a resistência à compressão diagonal da alvenaria, de modo que uma argamassa tipo II pode ser usada em vez de argamassa do tipo I, para o caso de blocos ocos, obtém-se uma maior resistência com argamassa tipo II, ver Tabela 2.

Embora seja possível obter valores superiores aos normativos da resistência do projeto à compressão diagonal, sem atender a três das quatro variáveis medidas, a questão é: Qual é o valor máximo que poderia ser obtido com um controle de qualidade adequado de materiais e procedimentos?

Por outro lado, há evidências experimentais históricas do aumento da resistência à compressão diagonal (Caso 2, Tabela 3) quando as blocos maciços de argila foram 24 horas na água, enquanto isso foi reduzido para 50% com uma imersão de peças antes da colagem, então surge a questão das vantagens desse processo. Deve-se notar que o código colombiano especifica tempos de pré-umedecimento com base na absorção (NTC 4205, 2000).

### 3.3 Comparação de valores

Conforme escrito anteriormente, a informação processada aqui corresponde a 43 séries experimentais desenvolvidas ao longo de 16 anos, razão pela qual os valores não podem ser aceitos como parâmetros de projeto à compressão e compressão diagonal, definindo assim as variáveis  $f_{j1}^{**}$  e  $vm1^{**}$ , que não diferem significativamente em relação a outros testes realizados na República Mexicana.

Esses ensaios foram feitos por: De la Cruz e Silva (2002) em peças maciças de Colima; De Gante et al. (2002) em blocos de argila de Puebla; Ruiz e Carboney (2006) em peças de argila da Tuxtla Gutiérrez; Fernández et al. (2009) em peças de concreto oco de Mérida; Méndez-Pérez et al. (2011) em blocos de argila de Querétaro e Tena et al. (2017) em peças sólidas de concreto do Vale do México. No caso da compressão diagonal, os valores calculados são semelhantes aos referenciados e estão na faixa de 0,20 a 0,55 MPa. Note-se que a resistência máxima foi registrada em Puebla (1,4 MPa). Quanto à resistência à compressão, a maioria dos valores é inferior a 3,0 MPa, incluindo aqueles calculados e há apenas quatro dados acima deste limite, ver as Figuras 11a e 11b.

Além disso, devido à natureza histórica dos dados, foi utilizada a proposta do Código colombiano, mas as variáveis calculadas  $fm2^{**}$  e  $vm2^{**}$  são ligeiramente superiores aos valores de  $fm1^{**}$  e  $vm1^{**}$ , respectivamente.

Um fator de comparação adicional é a proporção dos coeficientes de variação real em relação à normativa das duas variáveis em estudo (compressão e compressão diagonal). A Figura 12a mostra essa relação para quatro casos adicionais, em comparação com o valor calculado, existem duas séries de experimentos com maior dispersão, uma tem o mesmo nível (Aguilar e Alcocer, 2014) e duas apresentam menor dispersão. Na resistência à compressão existem dois casos com dispersão semelhante e nos restantes dois, isso é reduzido, Figura 12b.

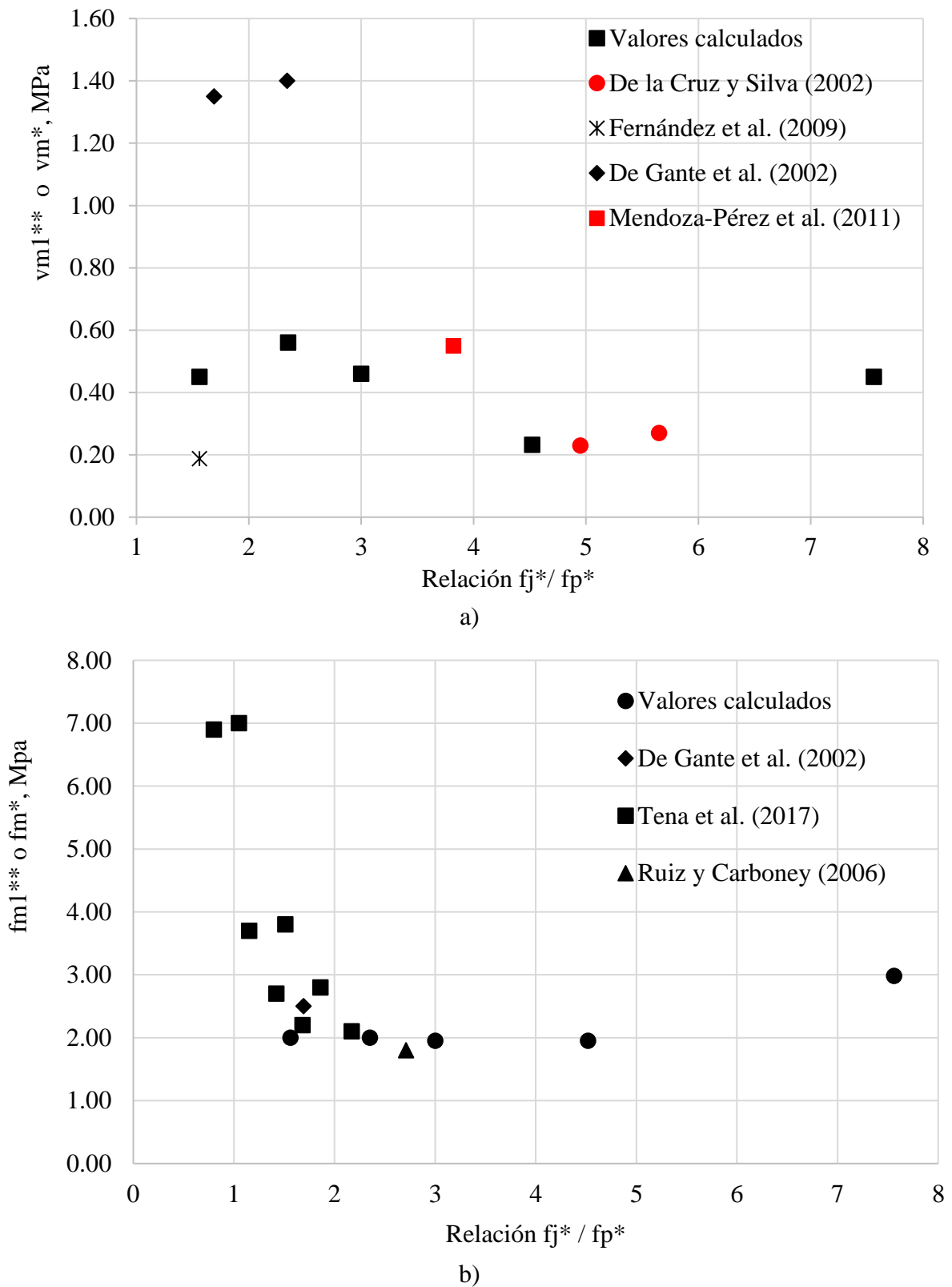


Figura 11. a) Resistência de compressão diagonal, b) Resistência à compressão

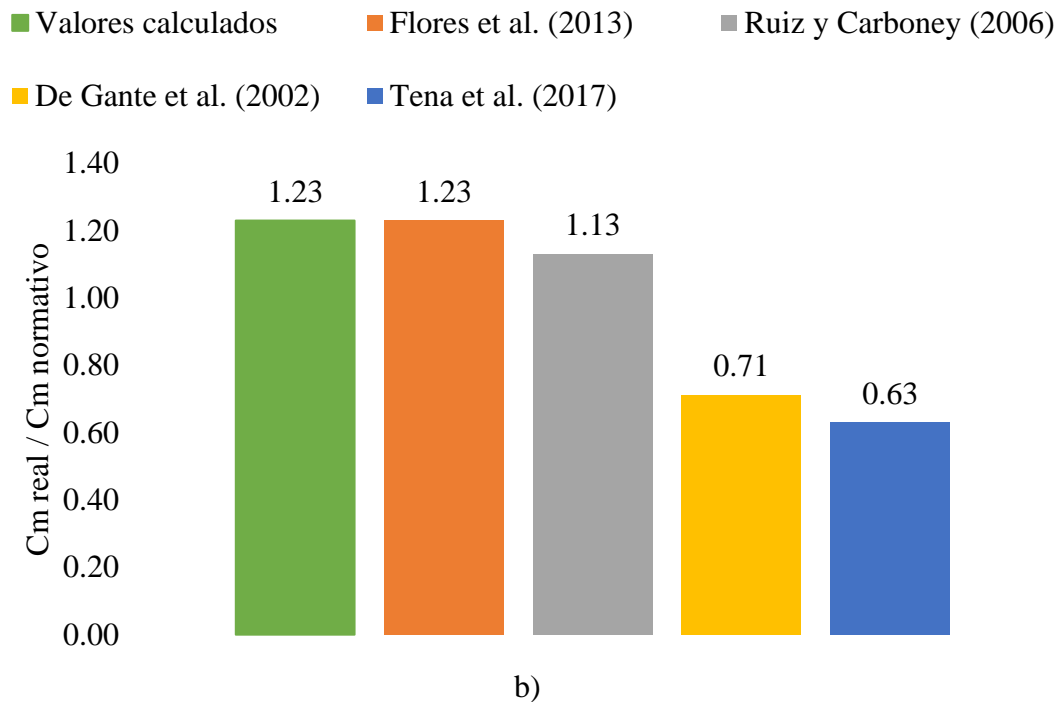
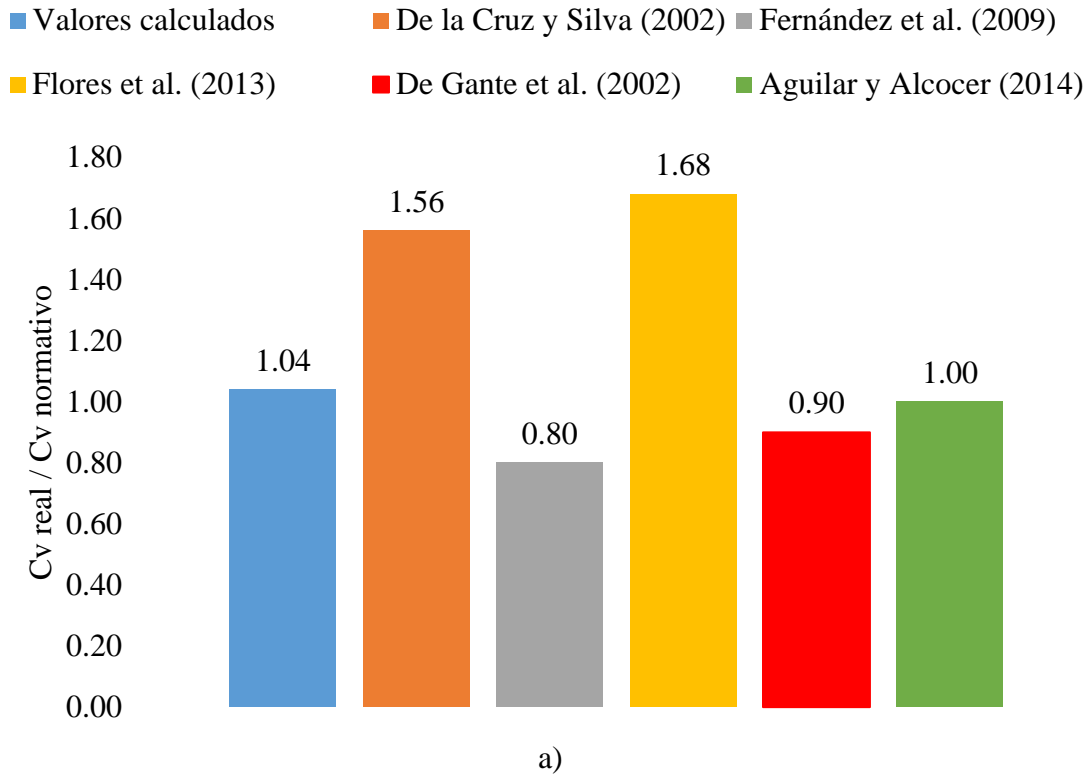


Figura 12. Razón do coeficiente de variação real contra normativa: a) resistência à compressão diagonal, b) resistência à compressão



#### 4. PROPOSTA DE VALORES DE PROJETO PARA O ESTADO DE GUERRERO

De acordo com a análise, os valores médios da resistência de projeto à compressão e compressão diagonal ( $f_m^*$ ,  $v_m^*$ ) são propostos para ambas as argamassas em função dos valores mínimos de resistência à compressão das peças ( $f_p^*$ ) mostradas na Tabela 4. A relação média (cimento: lima: areia) de ambas as argamassas para aplicação prática no local é de 1: 0,0: 2,8 e 1: 0,1: 3,7 em argamassas tipo I e II, respectivamente. Considerando que o número de espécimes relatados de blocos maciços de concreto com argamassa tipo II é escasso, não foi proposto um valor de referência.

Tabela 4. Proposta de valores de projeto

Pieza	Tipo de mortero	$f_m^*$ (MPa)	$v_m^*$ (MPa)
Tabique de barro recocido ( $f_p^* \geq 2.8$ MPa)	I y II	1.90	0.45
Tabicón ( $f_p^* \geq 6.0$ MPa)	I	1.90	0.45
Bloque hueco de concreto ( $f_p^* \geq 4.4$ MPa)	I y II	1.90	0.20

#### 5. CONCLUSÕES

A alvenaria é o material mais utilizado na construção de edifícios. No entanto, estes têm um alto risco sísmico no estado de Guerrero, associado ao risco sísmico existente, à falta de parâmetros mecânicos de projeto e à falta de controle de qualidade no processo de construção.

Por outro lado, a interação entre os componentes da alvenaria é complexa. Assim, no caso da resistência à compressão diagonal, foram analisadas quatro variáveis, duas da argamassa (módulo de finura e resistência à compressão) e duas da peça (resistência à compressão e absorção); mas os resultados não indicam um padrão para alcançar o valor normativo.

A comparação dos valores de resistência à compressão e compressão diagonal da alvenaria com outros registrados na República Mexicana e aqueles obtidos pela equação proposta pelo Código Colombiano, utilizando uma porcentagem do valor médio histórico, mostram a congruência da análise; que se repete com a relação dos coeficientes de variação real em relação aos normativos.

Finalmente, a partir da análise realizada, conclui-se que a resistência à compressão do projeto ( $f_m^*$ ) é de 1,9 MPa para qualquer tipo de peça unida com argamassas tipo I ou II. No caso de resistência à compressão diagonal de projeto ( $v_m^*$ ), propõe-se 0,45 MPa em juntas particionadas com argamassa de tipo I e em partições de argila recozidas, independentemente da argamassa usada (I ou II), o valor é reduzido para 0,20 MPa para qualquer argamassa se forem utilizados blocos ocios.

Os valores propostos são válidos quando a força de compressão do projeto nas peças ( $f_p^*$ ) atinge pelo menos 2,8 MPa em blocos maciços de argila recozida, 6,0 MPa em blocos de concreto maciço e 4,4 MPa para blocos ocios.

Os resultados aqui obtidos servirão de guia para o projeto, revisão, construção e supervisão de edifícios, bem como para o planejamento de programas experimentais nas diferentes partes do estado de Guerrero, onde não há informações.

#### 6. REFERÊNCIAS

Aguilar, G., Alcocer, S. (2014), “Efecto del refuerzo horizontal en el comportamiento de muros de mampostería confinada ante cargas laterales” (México, México: CENAPRED), p. 190.

- Alcocer, S., Aguilar, G., Flores, L., Bitrán, D., Durán, R., López-Bátiz, O., Pacheco, M., Reyes, C., Uribe, C., Mendoza, M. (1999), “*El sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999*” (México, México: CENAPRED), p. 196.
- Alcocer, S., Durán, R., Echavarría, A., Flores, L., López, O., Pacheco, M., Reyes, C. (2003) “*El sismo de Tecomán, Colima del 21 de enero de 2003 (M<sub>w</sub> 7.6)*” (México, México: CENAPRED), p. 196, pp. 79-160.
- Alcocer, S., Reyes, C., Bitrán, D., López-Batiz, O., Durán-Hernández, R., Flores, V. (2002), “*The 1999 Tehuacan (m<sub>w</sub> = 7.0) and Oaxaca (M<sub>w</sub> = 7.5) Mexican Earthquakes: Lessons Learned*”, Special Publication American Concrete Institute, Vol. 209, pp. 65-87.
- Arroyo-Matus, R., Sánchez-Tizapa, S., Téllez-Tapia, C., y Guinto-Herrera, R. (2014), “*Diagnóstico del comportamiento observado en edificaciones durante el sismo de Zumpango, Guerrero, México (M<sub>x</sub>=6.5) del 11 de diciembre de 2011 y propuestas para reducir la vulnerabilidad estructural*”, Tlamati, V.5, No. 2, pp. 22-30.
- Caballero, I. (2016), “*Comparativo de la resistencia a compresión y esfuerzo cortante en pilas y muretes de mampostería realizados en la Unidad Académica de Ingeniería-UAGro*”, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Guerrero, p. 74.
- Crisafulli, F. (1997), “*Seismic Behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills*”, Thesis of Doctor of Philosophy in Civil Engineering, University of Canterbury, p. 416.
- De Gante, J., Contreras, S., Torres, H., Serrano, S. (2002), “*Obtención de propiedades de piezas de mampostería empleadas en las construcciones de la ciudad de Puebla*”, XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Puebla (México), pp. 1261-1267.
- De la Cruz, J., Silva, C. (2002), “*Estudio de resistencias a compresión diagonal (cortante), de muretes de mampostería fabricados con materiales de la zona conurbada Colima-Villa de Álvarez*”, XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Puebla (México), pp. 349-356.
- Fernández, L., Marín, F., Varela, J., Vargas, G. (2009), “*Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto*”, Ingeniería, Vol. 13, No.2, pp. 41-50.
- Flores, V., Sánchez-Tizapa, S., Arroyo, R., Barragán, R., (2013), “*Propiedades mecánicas de la mampostería de tabique rojo recocido*”, Informes de la Construcción, Vol. 65, No. 531, pp. 387-395. Doi 10.3989/ic.12084.
- Juárez, H., Whitney, R., Guerrero, J., Gama, A., Vera, R., Hurtado, F. (1997), “*The October 9, Manzanillo, Mexico Earthquake*”, Seimological Research Letters, Vol. 68, No. 3, pp. 413-425.
- Mann, W., Muller, H. (1982), “*Failure of shear stressed masonry an enlarged theory, tests and application to shear walls*”, Proc. British Ceramic Society, Vol. 30, pp. 223-235.
- Martínez, J., Martínez, J. (2010), “*Fallas estructurales comunes en las edificaciones de Mexicali, B.C., debido al sismo de 4 de abril del 2010*”, XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Guanajuato (México), pp. 1-15.
- NMX-C-082-ONNCCE-2013. (2013). “*Industria de la construcción-Mampostería-Determinación de la adherencia por esfuerzo cortante entre el mortero y las piezas de mampostería. Método de ensayo*” (Ciudad de México, México: ONNCCE), p. 10.
- NMX-C-464-ONNCCE-2010. (2010). “*Industria de la construcción-Mampostería-Determinación de la resistencia a compresión y módulo cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto – Métodos de ensayo*” (Ciudad de México, México: ONNCCE), p. 24.
- NTC 4205. (2000). “*Norma Técnica Colombiana. Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos*” (Bogotá, Colombia: Ministerio de Desarrollo Económico), p. 14.

- NTCDCM. (2004). “*Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería*” (Ciudad de México, México: Gaceta Oficial del Distrito Federal), p. 50.
- NSR-98. (1998). “*Reglamento de construcciones sismo resistente, NSR-98. Título D. Mampostería Estructural*” (Bogotá, Colombia: Ministerio de Desarrollo Económico), pp. 374-437.
- Rangel, J., Tena, A., Gómez, A. (2011), “*Report on geotechnical and structural reconnaissance of the El Mayor Cucupah Earthquake, April 4, 2010, Baja California*”, Pan AM CGS Geotechnical Conference (USA), pp. 1-9.
- Rodríguez, M., Alarcón, P., Machicao, R. (1998), “*Evaluación del comportamiento sísmico de edificaciones de mampostería en los sismos de Michoacán de 1985 y 1997*”, Revista de Ingeniería Sísmica, Vol. 59, pp. 37-58.
- Ruiz, A., Carboney, J. (2006), “*Caracterización geométrica y mecánica de piezas de ladrillo de barro rojo recocido de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*”, XV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Puerto Vallarta (México), pp. 1-15.
- Sánchez-Tizapa, S. (2013), “*Reporte interno sobre el sismo de agosto 2013*”, Universidad Autónoma de Guerrero, p. 11.
- Tena, A., Liga, A., González, F. (2017), “*Proposal for improved mixes to produce concrete masonry units with commonly used aggregates available in the Valley of Mexico*”, Revista ALCONPAT, Vol. 7, No. 1, pp. 35-56. DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.170>.
- Tomazevic, M. (2006), “*Earthquake-resistant design of masonry buildings*” (London, England: Imperial College Press), p. 268.