

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

S. Sánchez-Tizapa^{1*}, A. Villaseñor-Franco¹, E. Guinto-Herrera¹, R. Barragán-Trinidad², A. Mebarki³

*Autor de Contacto: 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

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.

Citar como: S. Sánchez-Tizapa, A. Villaseñor-Franco, E. Guinto-Herrera, R. Barragán-Trinidad, A. Mebarki (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), pp. 231-246, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.159>

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

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

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

Información Legal

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

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

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

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2018 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 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

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

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 cozida 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.

1. INTRODUCCIÓN

La mampostería se integra por piezas macizas o huecas (de concreto o arcilla) pegadas con mortero, el cual se elabora a partir de agregado fino y cemento, en ocasiones, se agrega cal; puede existir refuerzo vertical y horizontal, elementos de concreto reforzado verticales y horizontales confinantes de pequeña sección transversal, o sin refuerzo alguno. Este sistema en sus diversas modalidades es uno de los más utilizados en la construcción de casas-habitación y edificios de baja altura (Tomazevic, 2006).

En México, las edificaciones de mampostería son dañadas frecuentemente por los sismos. Por ejemplo, existen registros de afectaciones en el sismo de Manzanillo en 1995 (Juárez et al., 1997); Caleta de Campos en 1997 (Rodríguez et al., 1998); Tehuacán y Oaxaca en 1999 (Alcocer et al., 2002, Alcocer et al., 1999) y Tecomán en 2003 (Alcocer et al., 2003). Recientemente, el sismo del 4 de abril de 2010, con $M = 7.2$ y epicentro en las cercanías de Mexicali, Baja California, provocó la falla por cortante de los muros cortos perimetrales del Hospital ISSSTECALI, Figura # 1a.

Las viviendas también mostraron daños, especialmente en la dirección transversal, donde hay menor longitud de muros asociada al diseño arquitectónico; en la Figura # 1b se muestra la falla por cortante en muros elaborados con bloques huecos de concreto (Rangel et al., 2011; Martínez y Martínez, 2010).



Figura 1. Daños en muros de mampostería en el sismo de Mexicali, Baja California (Martínez y Martínez, 2010): a) Muros cortos perimetrales, b) Casa-habitación

En este mismo orden, algunas construcciones de mampostería en el estado de Guerrero fueron afectadas por dos sismos ocurridos en los últimos seis años. El primero sucedió en 2011, con $M = 6.5$ y epicentro en la zona montañosa de la Sierra Madre del Sur, a 62 km de la ciudad Chilpancingo. Este generó daños en edificios históricos y en varias edificaciones más recientes ubicadas en la ciudad, Figura # 2a, (Arroyo-Matus et al., 2014). El segundo sismo ocurrió en agosto de 2013, $M = 6.0$, con epicentro al este de la ciudad de Acapulco, si bien no se reportaron daños en viviendas ni edificios, existieron daños no estructurales en los hospitales de esta ciudad. En la Figura # 2b se presenta la falla de muros divisorios de mampostería en tensión diagonal del Hospital Donato G. Alarcón (Sánchez-Tizapa, 2013).

Por otro lado, considerando que la mampostería es una combinación de diversos materiales, su falla depende de varios factores:

- a) Existencia o no de refuerzo (acero horizontal y vertical, elementos confinantes)
- b) Relación de forma de los muros
- c) Características mecánicas-geométricas-físicas de las piezas incluyendo su rugosidad
- d) Tipo y magnitud de la sollicitación
- e) Características físicas- mecánicas del mortero
- f) Relación entre características mecánicas del mortero y las piezas
- g) Nivel de saturación de las piezas al momento de pegarlas



a)



b)

Figura 2. Daños en muros de mampostería: a) En Chilpancingo, Gro. (Arroyo-Matus et al., 2014), b) En el Hospital Donato G. Alarcón de Acapulco, Gro. (Sánchez-Tizapa, 2013)

Bajo esta consideración, las fallas de la mampostería son tensión o falta de adherencia en la junta, tensión diagonal (agrietamiento de pieza y/o mortero, separación de piezas) y compresión. La envolvente de la capacidad de la mampostería se muestra en la Figura # 3 (Mann y Muller, 1982; Crisafulli, 1997; Flores et al., 2013). Con el objeto de conocer los valores de dicha curva, deberían realizarse al menos cuatro tipos de pruebas, de los cuales el código mexicano propone tres: adherencia-cortante (Zona 2), compresión diagonal (Zona 3) y compresión (Zona 4), (NTCDCM, 2004; NMX-C-082-ONNCCE-2013, 2013; NMX-C-464-ONNCCE-2010, 2010).

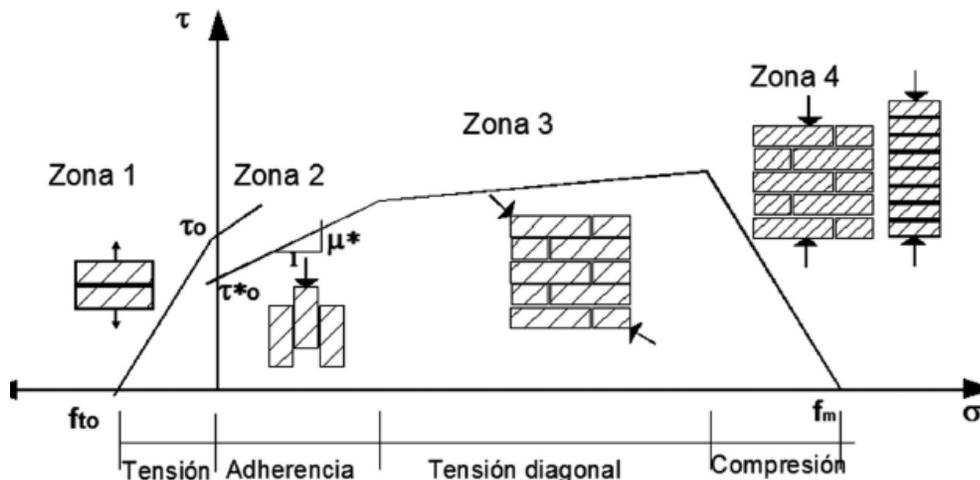


Figura 3. Envolvente y tipos de pruebas en especímenes de mampostería (Flores et al., 2013)

En otro orden, el estado de Guerrero tiene una problemática compleja: por un lado, existe un alto peligro sísmico asociado a la ubicación geográfica y, por el otro, se desconocen las propiedades más importantes para el diseño de la mampostería. Las variables más significativas, normalmente utilizadas en el diseño, son la resistencia a compresión diagonal y normal (Zonas 3 y 4 de la Figura 3). Ante el desconocimiento y/o inexistencia de valores locales, los diseñadores utilizan las normas técnicas complementarias de la ciudad de México (NTCDCM, 2004), las cuales podrían ser diferentes a los valores experimentales registrados (Flores et. al, 2013). Adicionalmente, dichas normas especifican un valor máximo de 0.34 MPa de la resistencia a compresión diagonal, el cual es insuficiente ante las altas demandas de diseño definidas en el reglamento local e impide diseñar construcciones mayores a tres niveles.

El estudio aquí desarrollado se justifica por el extenso uso de la mampostería en sus diferentes modalidades y piezas utilizadas para su elaboración, ver Figura # 4. Una muestra aleatoria realizada en 10 manzanas (431 construcciones) de la ciudad de Chilpancingo, Gro., indica que la mampostería de tabique rojo recocido y confinada es predominante. Los valores medios por tipo de material y estructuración son 81.4 % de muros de mampostería confinada (M1), 7 % de muros y/o marcos de concreto reforzado (M2), 3.7 % con muros de adobe (M3) y 7.9 % de otros materiales (acero y materiales provisionales, M4), ver Figura # 5. Respecto a las piezas de mampostería predomina el tabique recocido de arcilla; los valores medios son 82 % de tabique rojo recocido, 7.8 % de piezas de concreto (tabicones y/o bloques) y en 10.2 % no fue posible identificar el material.



Figura 4. Construcciones típicas de mampostería confinada

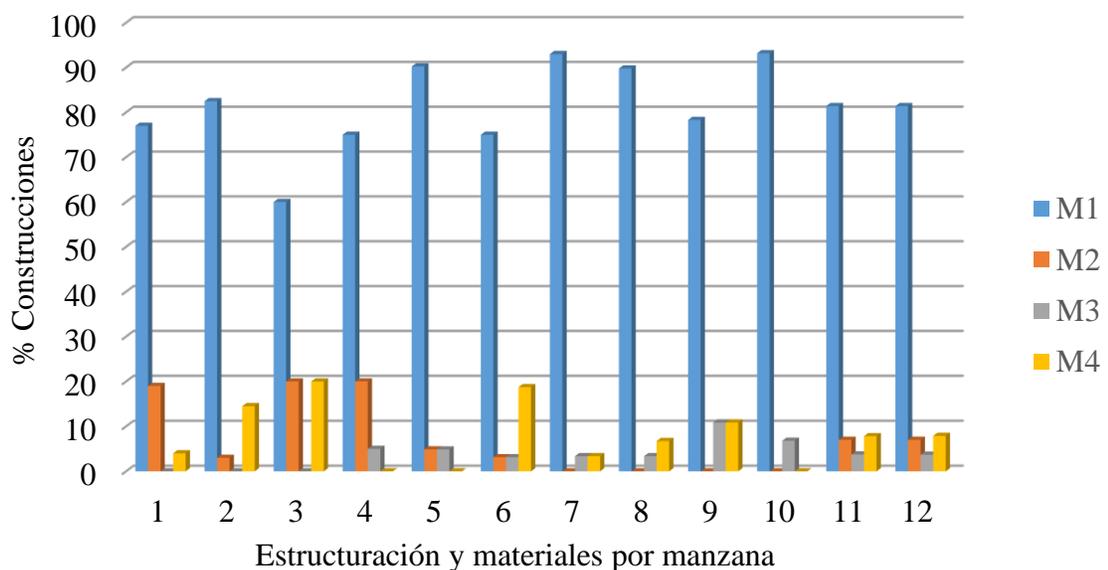


Figura 5. Distribución porcentual de los materiales de construcción

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Objetivo

Proponer valores de referencia para la resistencia de diseño a compresión y compresión diagonal a partir de la información experimental histórica en función de la resistencia a compresión del mortero y de las piezas utilizadas.

2.2 Normalización de la información experimental histórica

Un total de 13 investigaciones experimentales fueron analizadas, las cuales se realizaron entre los años 2000-2016. En la Tabla 1 y la Figura # 6 se presentan, tanto la relación y tipo de información obtenida, como el origen de las piezas. Los materiales y dosificaciones usados en la elaboración de especímenes referenciados fueron los comúnmente utilizados en la edificación de mampostería en las diferentes ciudades del estado (Caballero, 2016).

La normalización de la información se realizó mediante una cédula elaborada exprofeso mostrada en la Figura # 7, donde se presentan las características físicas-mecánicas de los componentes (arena, mortero y piezas) y de la mampostería (resistencia a compresión en pilas y resistencia a compresión diagonal en muretes). De los 13 estudios consultados fueron elaboradas 43 cédulas similares a la Figura # 7. Los acrónimos significan: MF , módulo de finura de la arena; $PVSS$, peso volumétrico seco suelto de la arena; C_{vr} , coeficiente de variación real; C_{vn} , coeficiente de variación normativo; f_j , resistencia promedio a compresión del mortero; f_j^* , resistencia de diseño a compresión del mortero; f_p , resistencia promedio a compresión de la pieza; f_p^* , resistencia de diseño a compresión de la pieza; f_m , resistencia promedio a compresión de la mampostería; v_m , resistencia promedio a compresión diagonal de la mampostería. El encabezado de la cédula contiene el número progresivo, el tipo de pieza analizado, autor y año de estudio.

Tabla 1. Relación de información experimental histórica analizada (Caballero, 2016)

| #/Autor / Fecha | Pruebas en componentes y tipos de piezas | | | Pruebas en mampostería | | |
|---------------------------------|--|---------|--------|------------------------|---------|----|
| | 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 Palacios (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: Tabique rojo recocido, T: Tabicón, B: Bloque hueco

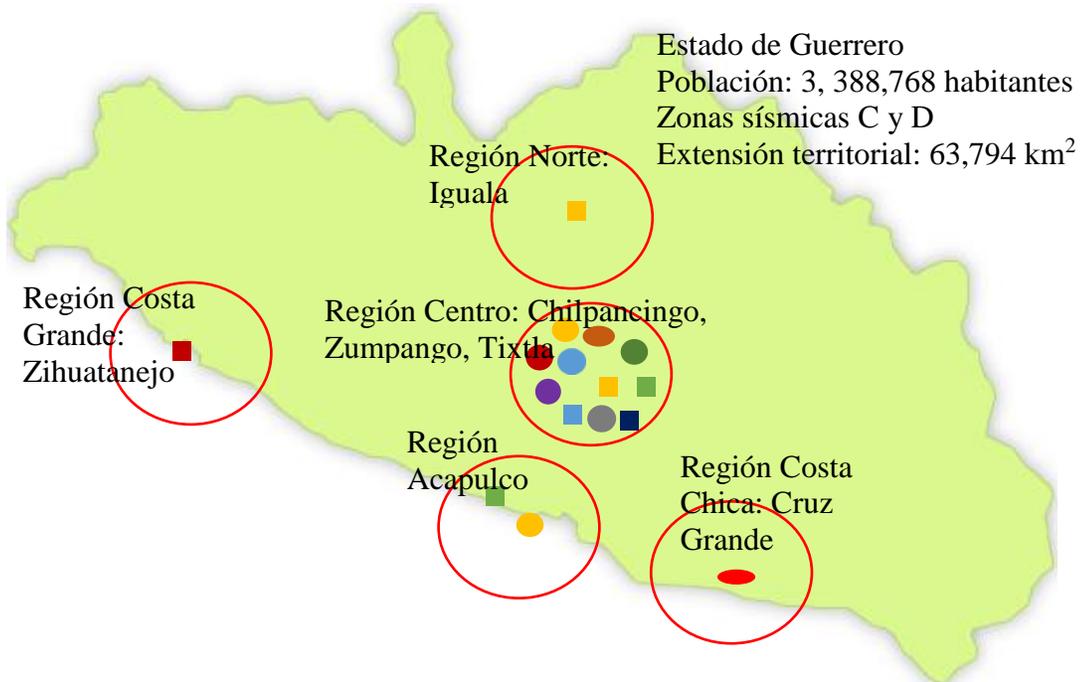


Figura 6. Procedencia de las piezas de mampostería estudiadas (Caballero, 2016)

Cédula # 21. Pieza de barro recocido de Atliaca, Gro. (Mayo y Nava, 2012). Unidades: MPa, m.

| ARENA | | PILAS | | | MURETES | | |
|-----------------------------------|--------------------------|------------|-----------------------|----------------------|------------|-----------------------|----------------------|
| <i>MF</i> | 2.95 | <i>N.º</i> | <i>Dimensión</i> | <i>f_m</i> | <i>N.º</i> | <i>Dimensión</i> | <i>v_m</i> |
| <i>PVVS</i> | 164.59 KN/m ³ | 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 |
| <i>C_{jr}</i> | 0.10 | 7 | 0.26x0.23 | 2.97 | 7 | 0.38x0.36 | 1.47 |
| <i>C_{jn}</i> | 0.20 | | | | | | |
| <i>f_j</i> | 22.38 | | | | | | |
| <i>f_j</i> [*] | 14.92 | | | | | | |
| PIEZAS | | | | | | | |
| Tipo | Tabique | | | | | | |
| Absorción, % | | | | | | | |
| <i>C_{pr}</i> | | | | | | | |
| <i>C_{pn}</i> | | | <i>f_m</i> | 3.55 | | <i>v_m</i> | 1.48 |
| <i>f_p</i> | | | <i>C_{mr}</i> | 0.25 | | <i>C_{vr}</i> | 0.09 |
| <i>f_p</i> [*] | | | <i>C_{mn}</i> | 0.15 | | <i>C_{vn}</i> | 0.20 |

Figura 7. Cédula para normalización de la información (Caballero, 2016)

En la Figura # 7 el primer subíndice de los coeficientes indica el tipo de probeta: mortero (*j*), pieza (*p*), pila (*m*) y murete (*v*), y el segundo subíndice indica si es real (*r*) o nominal (*n*)
 De acuerdo con la información obtenida, en la mayoría de los casos el mortero fue elaborado con cemento y arena, pero también podía contener cal. Así, la dosificación del mortero en volumen expresado en la cédula tiene tres partes correspondientes a las unidades de cemento, cal y arena, respectivamente.

3. RESULTADOS

3.1 Valores medios de las propiedades mecánicas

De acuerdo con la norma, el mortero tipo I tiene una resistencia de diseño igual o mayor a 12.3 MPa. Con 156 datos registrados y sin importar el tipo de pieza, se utilizó la ecuación 1 para evaluar la resistencia a compresión de diseño, $f_j^* = 16.98$ MPa, en esta ecuación, C_j es el coeficiente de variación mayor o igual a 0.20 (NTCDCM, 2004). La proporción promedio en volumen para obtener esta resistencia fue 1:0.05:2.82 (cemento:cal:arena), el coeficiente experimental histórico (C_{jr}) registró 21 %. En forma similar, del mortero tipo II se obtuvieron 77 datos, la resistencia a compresión de diseño fue $f_j^* = 10.0$ MPa con un coeficiente de variación $C_{jr} = 14$ %, ver figura # 8.

$$f_j^* = f_j / (1 + 2.5 C_j) \tag{1}$$

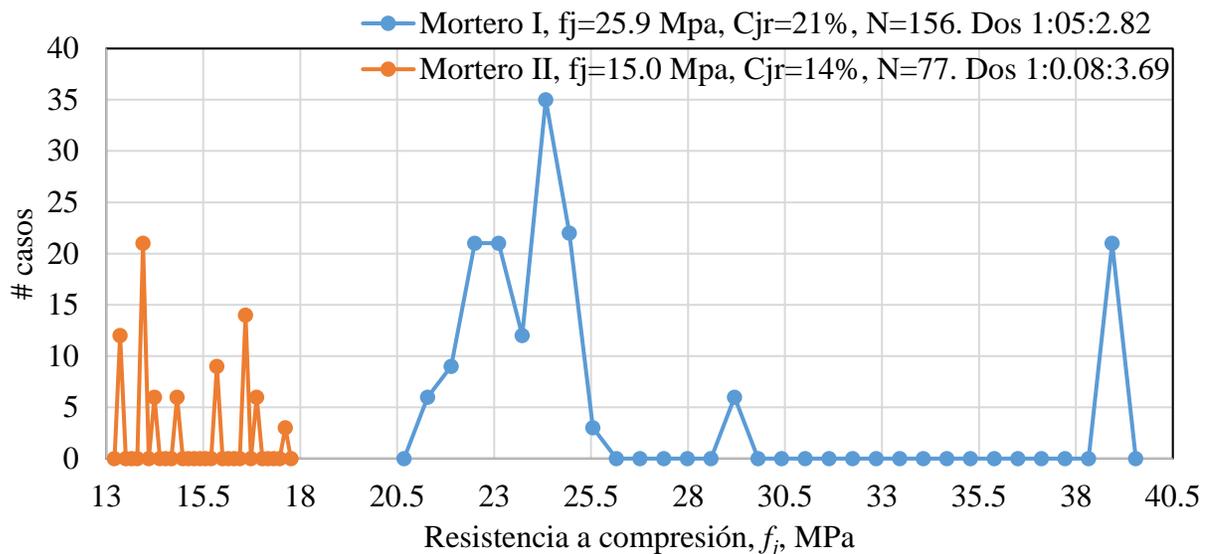


Figura 8. Polígonos de frecuencias de la resistencia a compresion en morteros I y II

Del análisis estadístico se obtuvieron los parámetros de diseño del mortero y la pieza mostrados en la Tabla 2. Por la naturaleza de los datos no se podían evaluar las resistencias de diseño a compresión y compresión diagonal, definiéndose las variables f_{m1}^{**} y v_{m1}^{**} , respectivamente. En la ecuación 1 utilizada se sustituyó el valor medio y el mayor coeficiente de variación (experimental o normativo, C_p , C_j , C_m , C_v) del parámetro en estudio. Considerando que los datos aquí utilizados pertenecen a distintas series de ensayos en un lapso de 16 años, es conveniente utilizar un criterio de evaluación apropiado. Para la resistencia a compresión, el reglamento colombiano (NSR-98, 1998) propone como valor de diseño el 70% del valor medio histórico cuando hay entre 10 y 30 resultados con la condición de que el coeficiente de variación sea menor al 30%, los parámetros f_{m2}^{**} y v_{m2}^{**} de la Tabla 2 fueron obtenidos con este criterio.

Tabla 2. Parámetros de diseño de piezas y mampostería (MPa)

| Pieza | Mortero | Mortero | | Pieza | | Mampostería | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|-------|---------|-------------|---------------|---------------|-------|---------------|---------------|
| | | C_j | f_j^* | C_p | f_p^* | C_m | f_{m1}^{**} | f_{m2}^{**} | C_v | v_{m1}^{**} | v_{m2}^{**} |
| 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 |
| Bloque | 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 |

La distribución de la resistencia a compresión diagonal, v_m , se muestra en las Figuras # 9 y # 10 para ambos morteros por cada tipo de pieza. En las gráficas se presentan adicionalmente, el número de datos, los valores medios de la resistencia a compresión de la junta (f_j) y pieza (f_p), así como la dosificación del mortero. Los coeficientes de variación experimental con mortero tipo I y II fueron 23 % y 22 % en tabique, 21 % y 26 % en tabicón, 22 % y 24 % en bloque, respetivamente. La norma propone un valor mínimo igual al 20 %.

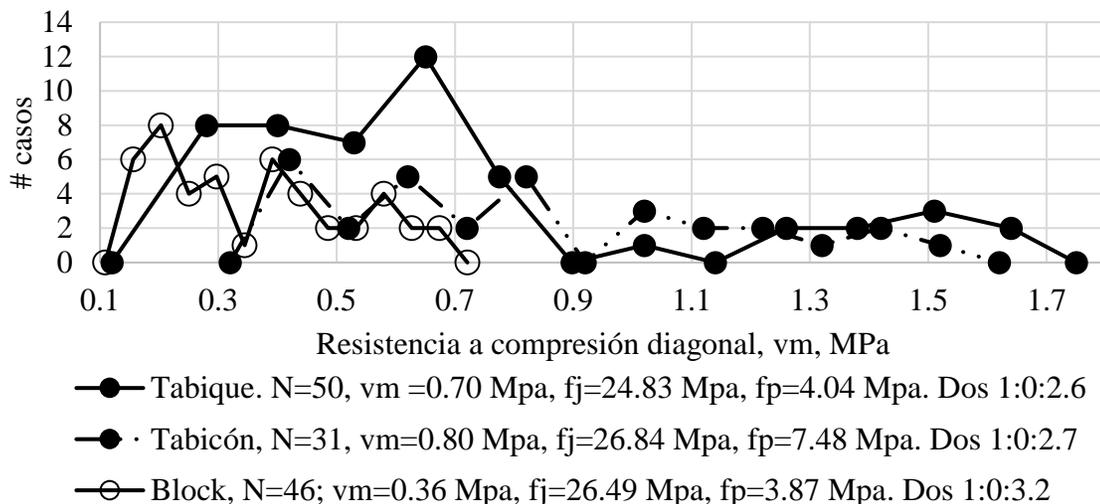


Figura 9. Polígonos de frecuencia de la resistencia a compresión diagonal con mortero tipo I

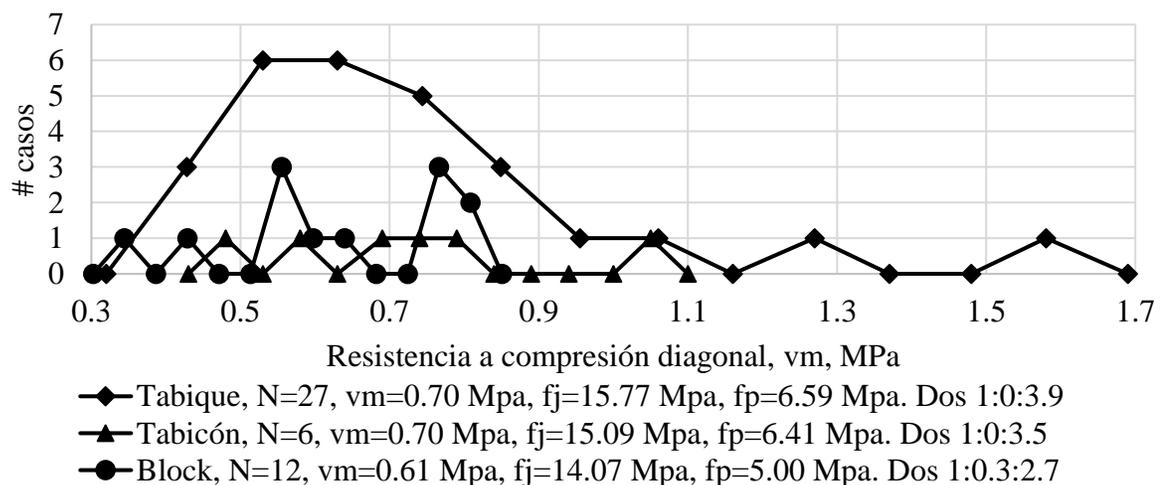


Figura 10. Polígonos de frecuencia de la resistencia a compresión diagonal con mortero tipo II

3.2 Comentarios

En la Tabla 3 se presentan los máximos valores de la resistencia a compresión diagonal registrados, cada renglón fue obtenido con la normalización de la información, ver Figura # 7. El máximo valor, $v_{ml}^{**} = 0.99$ MPa, se obtuvo en tabique rojo recocido saturado 24 horas y junteado con mortero tipo I de una resistencia a la compresión $f_j^* = 14.92$ MPa, caso (2). El caso (3), con $v_{ml}^{**} = 0.79$ MPa, es el máximo esfuerzo para tabicones pegados con un mortero de resistencia de diseño a compresión $f_j^* = 16.2$ MPa, resistencia de diseño a compresión de la pieza $f_p^* = 3.1$ MPa y absorción igual a 5 %. Para los bloques huecos, el máximo valor fue $v_{ml}^{**} = 0.40$ MPa, con valores de resistencia de diseño a compresión del mortero y piezas iguales a 9.34 MPa y 2.35 MPa, respectivamente, caso (4).

Tabla 3. Análisis de la resistencia a compresión diagonal (MPa)

| Pieza | Mortero | Renglón | MF | f_j^* | f_p^* | Absorción % | v_{ml}^{**} |
|--------------|---------|---------|------|---------|---------|-------------|---------------|
| 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 |
| Bloque hueco | 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) |

Los límites de las variables y de la resistencia de diseño a compresión diagonal (v_m^*) están definidos en la norma. Por otro lado, el rango de los valores del módulo de finura de la arena está entre 1.75 y 2.83, de acuerdo con las curvas granulométricas de la norma (NMX-C-486-ONNCCCE-2014, 2014). Las celdas color naranja indican valores inferiores a los normativos a diferencia de las celdas de color verde.

En esta Tabla # 3 se observan otros puntos interesantes a comentar, en el caso (1) se utilizó el mismo mortero y piezas del caso (2), la diferencia es que las piezas se mojaron antes de elaborar los especímenes en vez de saturar 24 horas, lo cual disminuyó la resistencia en 50 %.

Como se observa, la relación entre características de los componentes (agregados-cementante-pieza) que permita obtener un valor aceptable de la resistencia a compresión diagonal es compleja, existen al menos cuatro variables físicas-mecánicas por evaluar, adicional a la calidad en la elaboración de muretes y el control de los ensayos. La primera variable es el módulo de finura de la arena (MF), las dos siguientes son la resistencia de diseño a compresión del mortero (f_j^*) y la

pieza (f_p^*), la última es la absorción de la pieza. En el primer renglón se observa que las cuatro variables están dentro de los límites, mientras que en el segundo la resistencia de la pieza es menor al valor normativo; en ambos casos no se alcanza la resistencia de diseño a compresión diagonal (v_m^*). Para el tercer renglón se obtuvo el valor deseado sin cumplirse 3 de 4 variables. En el sexto renglón se cumplen todos los parámetros, mientras que en los dos últimos se cumple sólo uno de cuatro, sin embargo, en ambos casos se alcanzó el valor normativo. Del tabicón se presentan cinco casos, en cuatro de ellos se cumplieron dos variables, en el restante sólo una variable no cumple y para todos se alcanza el valor deseado. Finalmente, en el bloque hueco sólo con mortero tipo II se alcanza la resistencia deseada.

De acuerdo con los resultados, para el caso del tabique rojo recocido, el aumento en la resistencia a compresión del mortero no aumenta significativamente la resistencia a compresión diagonal de la mampostería, por lo que puede utilizarse un mortero tipo II en lugar de un mortero tipo I, para el caso de bloques huecos se obtiene una mayor resistencia con mortero tipo II, ver Tabla 2.

Si bien es posible obtener valores mayores a los normativos de la resistencia de diseño a compresión diagonal sin cumplir con tres de las cuatro variables medidas, la interrogante es: ¿Cuál es el valor máximo que podría obtenerse con un adecuado control de calidad de materiales y procedimientos? Por otro lado, existe evidencia experimental histórica del aumento de la resistencia a compresión diagonal (Caso 2, Tabla 3) cuando los tabiques de arcilla estuvieron 24 horas en agua, mientras ésta se redujo al 50 % con un remojado de piezas antes de pegarlos, por lo que surge la interrogante sobre las ventajas de este proceso. Debe comentarse que el código colombiano especifica tiempos de prehumedecimiento en función de la absorción (NTC 4205, 2000).

3.3 Comparación de valores

Como se escribió anteriormente, la información aquí procesada corresponde a 43 series experimentales desarrolladas durante 16 años, por tal razón los valores no se pueden aceptar como parámetros de diseño a compresión y compresión diagonal, definiéndose así las variables f_{jl}^{**} y v_{ml}^{**} , las cuales no difieren significativamente respecto a otros ensayos realizados en la República Mexicana. Dichos ensayos fueron realizados por: De la Cruz y Silva (2002) en piezas macizas de Colima; De Gante et al. (2002) en tabiques de arcilla de Puebla; Ruiz y Carboney (2006) en piezas de arcilla originarias de Tuxtla Gutiérrez; Fernández et al. (2009) en piezas huecas de concreto de Mérida; Méndez-Pérez et al. (2011) en tabiques de arcilla de Querétaro y Tena et al. (2017) en piezas macizas de concreto del Valle de México. Para el caso de la compresión diagonal, los valores calculados son similares a los referenciados y están en el rango de 0.20 - 0.55 MPa. Cabe destacar que la máxima resistencia se registró en Puebla (1.4 MPa). Respecto a la resistencia a compresión, la mayoría de los valores son inferiores a 3.0 MPa, incluyendo los calculados y sólo hay cuatro datos superiores a este límite, ver Figuras # 11a y # 11b.

Adicionalmente, por la naturaleza histórica de los datos, se utilizó la propuesta del Código de Colombia, pero las variables calculadas f_{m2}^{**} y v_{m2}^{**} son ligeramente mayores a los valores de f_{m1}^{**} y v_{m1}^{**} , respectivamente.

Un factor adicional de comparación es la razón de los coeficientes de variación real respecto al normativo de las dos variables en estudio (compresión y compresión diagonal). En la Figura # 12a se presenta dicha relación para cuatro casos adicionales, respecto al valor calculado hay dos series de experimentos con mayor dispersión, uno tiene el mismo nivel (Aguilar y Alcocer, 2014) y dos tienen menor dispersión. En la resistencia a compresión existen dos casos con similar dispersión y en los dos restantes ésta se reduce, Figura # 12b.

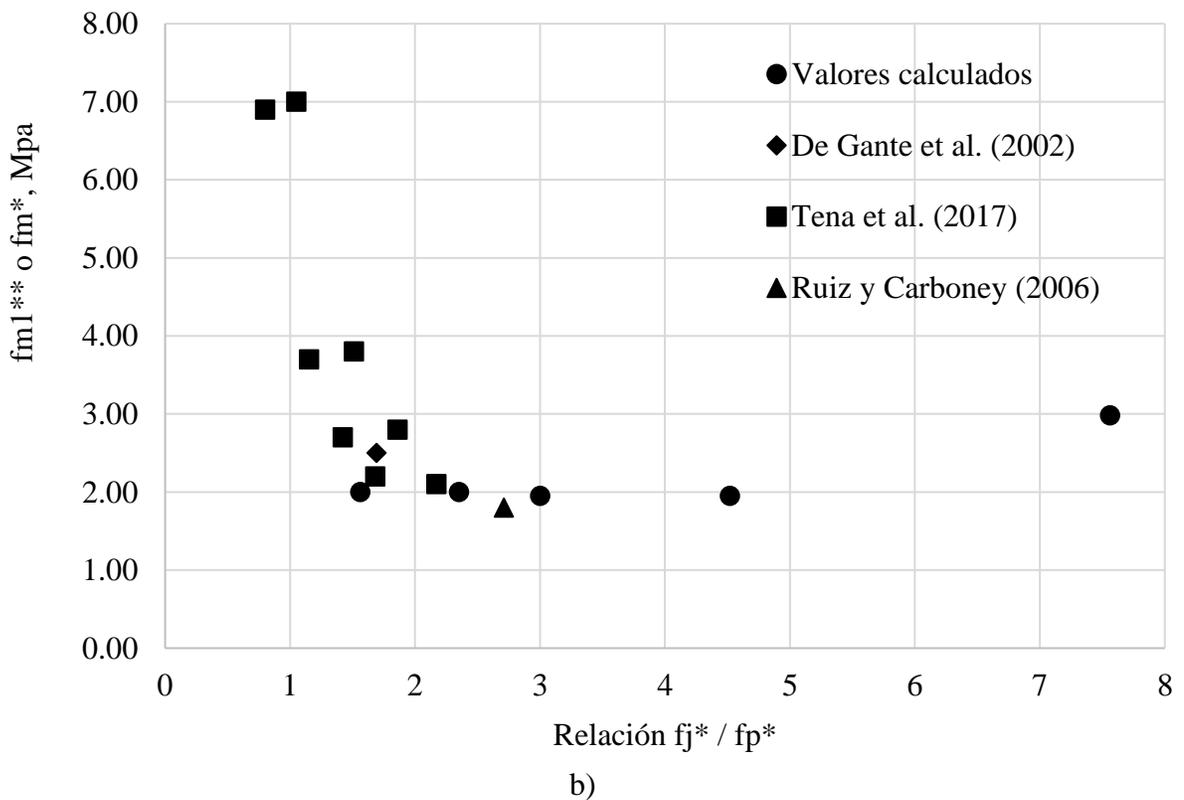
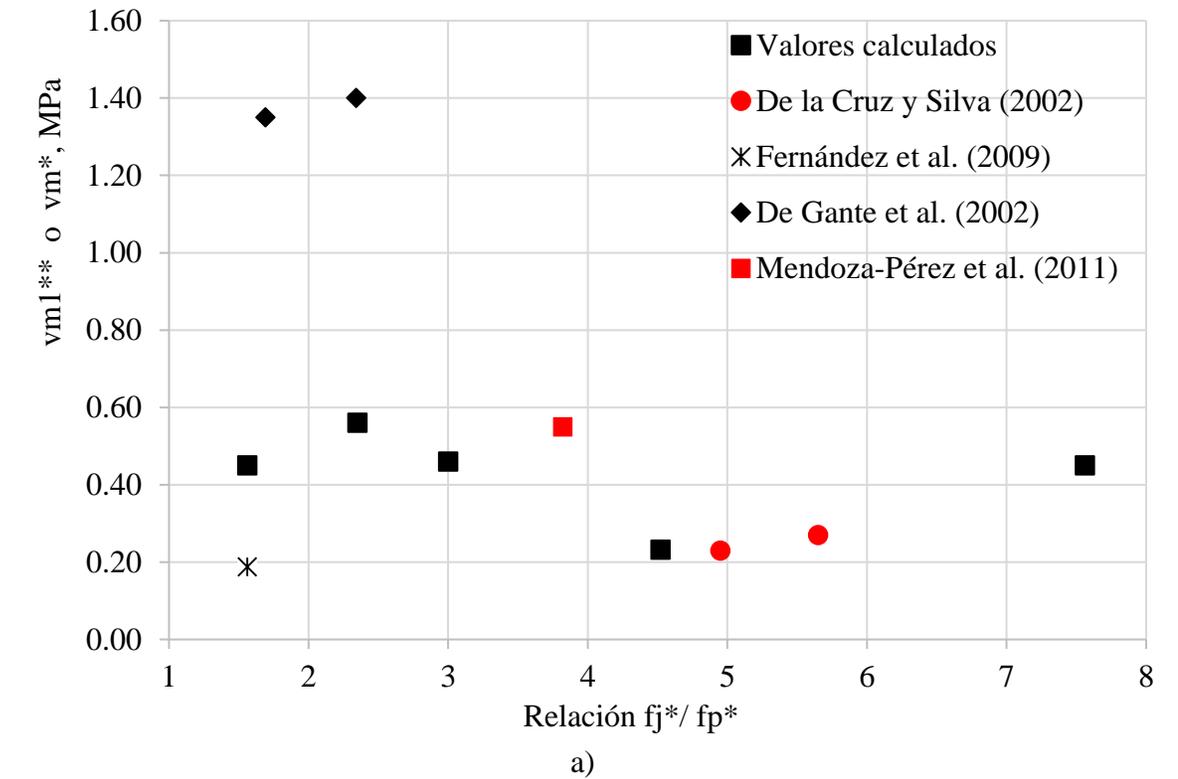


Figura 11. a) Resistencia a compresión diagonal, b) Resistencia a compresión

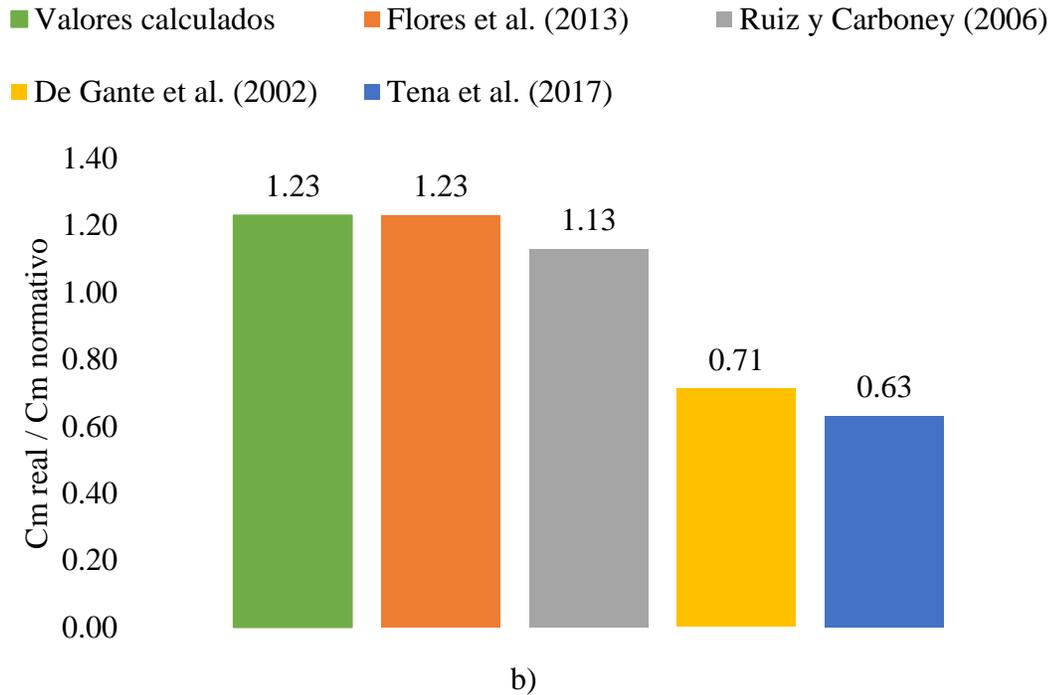
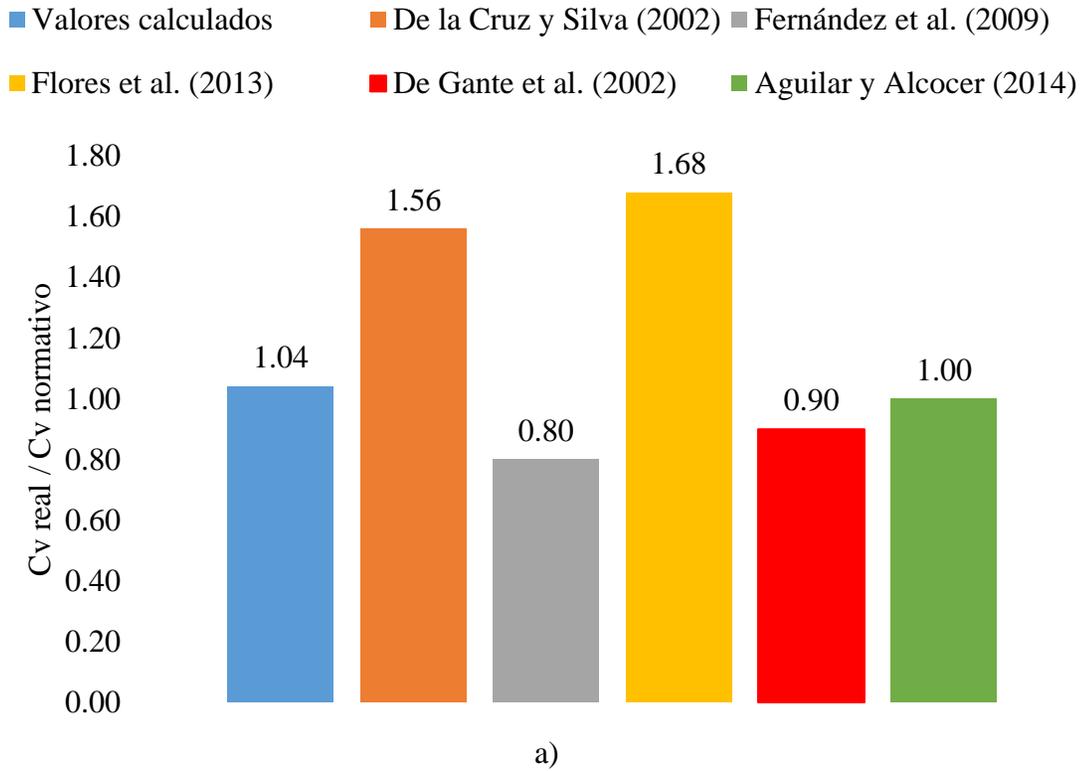


Figura 12. Razón de coeficiente de variación real contra el normativo: a) resistencia a compresión diagonal, b) resistencia a compresión

4. PROPUESTA DE VALORES DE DISEÑO PARA EL ESTADO DE GUERRERO

De acuerdo con el análisis se proponen los valores medios de la resistencia de diseño a compresión y compresión diagonal (f_m^* , v_m^*) para ambos morteros en función de los valores mínimos de resistencia a compresión de las piezas (f_p^*) mostrados en la Tabla 4. La proporción promedio (cemento: cal: arena) de ambos morteros para fines prácticos de aplicación en obra es 1:0.0:2.8 y 1:0.1:3.7 en morteros tipo I y II, respectivamente. Considerando que la cantidad de especímenes reportados de tabicón con mortero tipo II son escasos, no se propuso un valor de referencia.

Tabla 4. Propuesta de valores de diseño

| 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. CONCLUSIONES

La mampostería es el material más utilizado en la construcción de edificaciones. Sin embargo, éstas tienen un alto riesgo sísmico en el estado de Guerrero asociado al peligro sísmico existente, a la falta de parámetros mecánicos de diseño y a la falta de control de calidad en el proceso constructivo. Por otro lado, la interacción entre los componentes de la mampostería es compleja. Así, en el caso de la resistencia a compresión diagonal se analizaron cuatro variables, dos del mortero (módulo de finura y resistencia de diseño a compresión) y dos de la pieza (resistencia de diseño a compresión y absorción); pero los resultados no indican un patrón para alcanzar el valor normativo.

La comparación de valores de la resistencia a compresión y compresión diagonal de la mampostería con otros registrados en la República Mexicana y los obtenidos mediante la ecuación propuesta por el Código Colombiano, utilizando un porcentaje del valor medio histórico, muestran la congruencia del análisis; lo cual se repite con la relación de los coeficientes de variación reales respecto a los normativos.

Finalmente, del análisis realizado se concluye que la resistencia a compresión de diseño (f_m^*) es 1.9 MPa para cualquier tipo de pieza juntaada con morteros tipo I o II. En el caso de la resistencia a compresión diagonal de diseño (v_m^*) se propone 0.45 MPa en tabicónes juntaados con mortero tipo I y en tabiques de barro recocido sin importar el mortero utilizado (I o II), el valor se reduce a 0.20 MPa para cualquier mortero si se utilizan bloques huecos.

Los valores propuestos son válidos cuando la resistencia a compresión de diseño en las piezas (f_p^*) alcanzan al menos 2.8 MPa en tabique rojo recocido, 6.0 MPa en tabicón y 4.4 MPa para bloques huecos.

Los resultados aquí obtenidos servirán como una guía tanto para el diseño, revisión, construcción y supervisión de construcciones como para la planeación de programas experimentales en las diferentes partes del estado de Guerrero donde no existe información.

6. REFERENCIAS

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 (Me 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 (mw = 7.0) and Oaxaca (Mw = 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 (Mx=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.