



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

**MANUAL PARA LA OBTENCIÓN DE PROPIEDADES
MECANICAS EN MAMPOSTERÍA, APLICABLE A
ESTRUCTURAS TIPO II**

TESINA

Que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN INGENIERÍA
CON OPCIÓN TERMINAL EN ESTRUCTURAS**

Presenta:

ING. JAVIER CONTRERAS VÁZQUEZ

Director de tesina:

M. I. HÉCTOR IVÁN SANTOS HERNÁNDEZ

Co-Director:

DR. JUAN PABLO HIDALGO TOXQUI

Puebla, Pue.

Junio 2019



BUAP

Oficio No. 0959/2019

C. Javier Contreras Vázquez

Pasante de la Maestría en Ingeniería
con opción terminal en Estructuras
Facultad de Ingeniería, BUAP.
Presente

Por medio del presente, el suscrito M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Tema de Tesina, le autoriza desarrollar el tema intitulado: **Manual para la obtención de propiedades mecánicas en mampostería, aplicable a estructuras tipo II.** Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Estructuras. Asignándose como Director al M.I. Héctor Iván Santos Hernández y Co-director al Dr. Juan Pablo Hidalgo Toxqui.

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Zaragoza, junio 4 de 2019

M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director

C.c.p M.I. Héctor Iván Santos Hernández y Dr. Juan Pablo Hidalgo Toxqui, Director y Co-director del tema de tesina.

C.c.p. Archivo

ABH/MCF/sco*

Facultad
de Ingeniería

Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING - 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

Heroica Puebla de Zaragoza a 20 de junio de 2019

M.I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
P R E S E N T E

Por medio del presente me permito informarle que el C. **Javier Contreras Vázquez**, alumno de la Maestría en Ingeniería con opción terminal en Estructuras, Matricula: 217470308, ha concluido el trabajo titulado:

“Manual para la obtención de propiedades mecánicas en mampostería, aplicable a estructuras Tipo II”

Como tema de tesina, el cual ha sido revisado y no existe inconveniente alguno para autorizar su impresión. Lo anterior para los efectos académicos a que haya lugar.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

Atentamente



M.I. Héctor Iván Santos Hernández

Asesor de la Tesina

C.c.p. Dr. Alejandro Bautista Hernández
Secretario de Investigación y estudios de Posgrado de la F.I._BUAP
C.c.p. Interesado

*A mis padres Diana y Wences,
a mis niños Wendy, Diana y Xavier
por ser el aliciente en este proyecto.*

Agradecimientos

A la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por darme la oportunidad de formar parte de esta gran institución.

A mis docentes por brindarme sus conocimientos y experiencia en el ámbito de la Ingeniería Estructural.

En especial a mi director de tesina el M.I. Héctor Iván Santos Hernández sin cuya asesoría y oportunas correcciones no hubiese sido posible la culminación de este trabajo.

A mi co-director Dr. Juan Pablo Hidalgo Toxqui por su guía y ejemplo de disciplina en la elaboración de los ensayos.

Para el M.I. Martín Castillo Flores por brindar siempre su apoyo durante mi formación en la Maestría.

A los jóvenes Edgar Amaro Juárez, Marcelino Severiano Montoro y Diógenes Gómez Martínez por su valiosa aportación a este trabajo.

Índice

Oficio de Autorización de Tema.....	i
Oficio de Autorización de Impresión	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos	iv
Índice.....	v
Resumen	1
Introducción.....	2
I. GENERALIDADES DE LA MAMPOSTERÍA.....	4
I.1 Historia de la Mampostería	4
I.2 Tipos de Piezas y Morteros.....	8
I.2.1 Tipo de Piezas	8
I.2.2 Tipo de Morteros.....	13
I.3 Tipos de Mampostería	15
I.4 Propiedades Índice de la Mampostería de Tabique rojo Recocido	17
I.4.1 Resistencia a la compresión f'_m	17
I.4.2 Resistencia al cortante V'_m	20
I.4.3 Modulo de Elasticidad E_m	22
I.4.4 Modulo de Cortante G_m	23
II. ENSAYES EN LA MAMPOSTERÍA.....	24
II.1 Resistencia a la Compresión f'_p de las Piezas	25
II.2 Resistencia a la Compresión del Mortero f'_j	33
II.3 Resistencia a la Compresión f'_m de la Mampostería	41
II.4 Obtención del Módulo de Elasticidad de la Mampostería	50
II.5 Obtención de la Resistencia a la Compresión Diagonal V'_m	58
II.6 Obtención del Módulo de Cortante G_m	69
III. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA MAMPOSTERÍA	78
III.1 Tipo de Muros	78
III.2 La Configuración Estructural.....	78
III.3 Análisis Sísmico	80
III.3.1 Método Estático	80
III.4 Fallas Presentadas en los Muros de Mampostería	81
III.5 Opciones para Incrementar la Resistencia al Corte	83

III.5.1 Refuerzo Horizontal	83
III.5.2 Enmallado.....	87
III.6 Resistencia a Cargas laterales en la Mampostería	88
IV. IMPORTANCIA DE LOS ENSAYES DE LABORATORIO	90
IV.1 Comportamiento Utilizando Refuerzo Horizontal	90
IV.1.1 Resistencia con Valores f'_m y v'_m de la Norma.....	90
IV.1.2 Resistencia con Valores f'_m y v'_m Obtenidos en Laboratorio	92
IV.2 Comportamiento con el Enmallado.....	94
IV.2.1 Resistencia con Valores f'_m y V'_m de la Norma	94
IV.2.2 Resistencia con Valores f'_m y V'_m Obtenidos en Laboratorio	96
Conclusiones.....	98
Bibliografía.....	99

Resumen

La mampostería ha sido siempre un material de amplio uso en la construcción de estructuras principalmente en la vivienda popular, de ahí la importancia de conocer su comportamiento ante los elementos mecánicos. Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería 2017 (NTC CDMX 2017) y en México exige que las estructuras del Tipo II sean diseñadas conociendo sus propiedades, estas deberán ser obtenidas mediante ensayos de laboratorio siguiendo un procedimiento normado. Se propone en este trabajo un manual de ensayos para obtener estos datos y se pone en práctica con mampostería de tabique rojo recocido fabricado en Cholula Puebla, posteriormente se analiza la importancia de disponer de estos datos, ya que cuando los valores de estas propiedades son mayores a los recomendados en la norma se pueden optimizar las opciones de refuerzo en la mampostería como se presenta en el desarrollo del trabajo.

Abstract

Masonry has always been a material of a wide usage in the construction of structures, mainly in popular housing, due to that the importance of knowing its behavior before the mechanical elements. The Complementary Technical Norms for Design and Construction of Masonry Structures 2017 (NTC CDMX 2017) and in Mexico require that Type II structures be designed knowing their properties, these must be obtained by laboratory tests following a standardized procedure. In this work a manual of assays is proposed to obtain these data and it is put into practice with red annealed masonry made in Cholula Puebla, later the importance of having these data is analyzed, because when the values of these properties are higher to those recommended in the norms, it is possible to optimize the reinforcement options in the masonry as it is presented in the development of this paper.

Introducción

De acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) la vivienda en México es construida un 87% con mampostería de tabique rojo recocido o bloques de concreto, principalmente de origen artesanal. La construcción de vivienda con mampostería en el país está bastante arraigada en la cultura, se tiene una percepción de seguridad aunado a una disponibilidad de la materia prima y la mano de obra (autoconstrucción), pese a ser el material para la construcción más utilizado, quizás sea el menos entendido.

México ha sido uno de los países donde se han realizado estudios e investigaciones sobre la mampostería siendo pionero del tema en Latinoamérica, a raíz del sismo de 1957 la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) comenzó un gran programa de investigación generando las primeras recomendaciones y posteriormente normas al respecto, en la década de los 90's el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) empezó a aportar de forma importante estudios sobre la seguridad sísmica de las viviendas denominadas de interés social o económicas.

Las NTC CDMX 2017 indican que las estructuras del tipo II sean diseñadas conociendo sus propiedades mecánicas con la intención de que estas brinden mayor seguridad a sus ocupantes con un diseño más acorde al comportamiento real de la estructura, para esto se requiere realizar ensayos a la mampostería basados en la normas NMX que emite el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C. (ONNCCE).

En las NTC CDMX 2017 se proporcionan valores de las propiedades mecánicas de la mampostería para diseño de las estructuras del tipo I, sin embargo estos valores son conservadores con la intención de que las estructuras diseñadas no comprometan la seguridad de sus ocupantes. La misma norma exige que las estructuras tipo II sean diseñadas conociendo sus propiedades, con el propósito de asegurar o aumentar el factor de seguridad y también para que el diseño sea más cercano al comportamiento real de la estructura.

Es importante señalar que esos valores propuestos también conservadoramente arrojan incrementos de resistencia en la mampostería pequeños al colocar un enmallado o refuerzo horizontal, comparados con los que se pueden obtener si los valores reales son mayores.

Surge entonces la necesidad de obtener esas propiedades con el sentido de obligación y responsabilidad por parte del diseñador, ¿mi mampostería es apta para el uso que se pretende dar a la estructura? ¿Dispongo de opciones de incrementar u optimizar el refuerzo? Serían algunas de las preguntas de quien diseña en mampostería.

Lo anterior expone la importancia de disponer de las propiedades mecánicas de la mampostería no solo como requisito en las estructuras tipo II, si no como una forma de diseñar estructuras de mampostería de manera que se optimicen sus propiedades. El disponer de un manual de ensayos para obtener las propiedades permite a la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla brindar este servicio, con base en un proceso confiable y con apego a la norma.

I. GENERALIDADES DE LA MAMPOSTERÍA

En este primer capítulo se hace mención de manera breve de la historia de la mampostería desde el uso de roca hasta la fabricación actual de piezas extruidas con capacidades mecánicas sobresalientes, mencionando la importancia de este material en la actualidad por su frecuente uso, a la vez que lamentablemente de manera contradictoria sea el material de construcción menos entendido.

I.1 Historia de la Mampostería

La Mampostería proviene de la palabra *mampuesto*, derivación de mano y puesto. S. XVI – Latín: manus: mano; y positura: asiento, de ponere: poner. Sufijo: ería: trabajo artesanal. Piedra que se asienta o coloca con la mano. Obra de cal y canto (Treviño, 2014)

El uso de la mampostería se remonta a los inicios de la civilización, cuando el hombre tuvo la necesidad de guarecerse de las hostilidades del medio, dejando a un lado el uso de las cavernas. Por la disponibilidad de este recurso, la primera mampostería fue la de rocas apiladas hace aproximadamente unos 15,000 años, posteriormente con la repetición de esta técnica surgió el uso de arcilla como mortero que permitió asentar las piezas y construir los primeros muros. En la figura I.1 se muestra el uso de arcilla como mortero en Ollantaytambo, Cusco Perú.

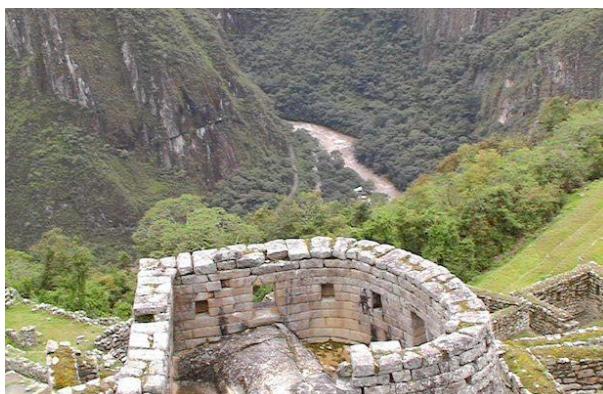


Figura I.1 Construcción de mampostería de piedra asentada con mortero de arcilla en Ollantaytambo, Cusco Perú. Fuente: minube_web

Seguramente la ausencia de rocas obligó al hombre a realizar los primeros elementos de barro secados al sol para sustituirlas, estas piezas tuvieron en un principio formas irregulares siendo común la forma cónica. Se han encontrado en muros de Mesopotamia con antigüedad de 7000 años y en la costa norte de Perú con antigüedad de 5000 años.

Fueron los Sumerios 4000 años a.C. iniciadores de la ingeniería civil y de la civilización en si los que inventaron el primer molde de madera para la fabricación de piezas en forma de paralelepípedo utilizando arcilla, las cuales posteriormente eran secadas al sol (adobe), estas piezas permitieron la construcción de obras monumentales y una contribución a las matemáticas aplicadas. En el tercer milenio a.C. el adobe fue llevado al horno dando origen al ladrillo, los cuales eran asentados con betún o alquitrán mezclado con arena, esta mezcla hizo posible que sus construcciones pudieran alcanzar alturas considerables para la época, existieron obras importantes de estas como la citada en el Génesis conocida como torre de babel. Una obra sobresaliente es el Gran Zigurat que se muestra en la figura I.2



Figura I.2 Zigurat en la Ciudad de Ur, Fuente: Sobrehistoria.com

En México las culturas mesoamericanas utilizaron la piedra natural y artificial las cuales eran talladas de hermosa manera, los teotihuacanos utilizaban cimientos de piedra en sus casas y pilotes de árboles para su refuerzo, los mayas hicieron grandes aportaciones como la bóveda Maya que reemplazo a la palma por la

mampostería y que se utilizó en edificios de culto y casas de los privilegiados. En general es raro el uso del ladrillo pero muy común el adobe.

Los romanos hicieron uso de la tecnología sumeria de mampostería de ladrillo y aportaron la invención del mortero, cemento y concreto, gracias a la disponibilidad de un "polvo" (en la vecindad de Baia y Putuoli y en los alrededores del Monte Vesubio) que poseía cualidades asombrosas al mezclarse con cal y piedras y que al contacto con el agua endurecía, esto es lo que hoy es conocido como concreto, gracias a esto los romanos lograron revolucionar la construcción, haciendo mejoras significativas a los arcos, bóvedas y cúpulas sumerias, simplificando la construcción de muros y cimentaciones más competentes.

En la revolución industrial en el siglo XVIII es rescatado el uso del concreto por Smeaton el fundador de la ingeniería civil quien utiliza una mezcla de cal y puzolana italiana. En Londres Inglaterra se empieza a reglamentar el uso de la mampostería en el año 1625 y esta ciudad pasa de ser, una ciudad de madera a una de mampostería, esto se dio principalmente con la intención de evitar los incendios. En el apogeo de la revolución industrial se generan plantas para la fabricación de ladrillo y se cambia el uso del carbón como combustible por el gas, los procesos de fabricación se hacen más eficientes y se pasa de procesos empíricos a científicos, se controlan las temperaturas, tiempos de cocción y la formulación e implementación de normas para evitar el agrietamiento de las piezas. (,)

La mampostería de ladrillo llega al continente americano por los europeos, en Estados Unidos se empieza con la producción de manera artesanal y se comienza con la construcción de edificios.

A finales del siglo XVIII y principios del XIX se tienen los siguientes avances en Europa:

En 1796, se patenta el "cemento romano" que era, estrictamente hablando, una cal hidráulica. En 1824 se inventa y patenta el cemento Portland. Entre 1820 y 1840, se inventa la máquina para extruir ladrillos de arcilla, se usa por primera vez mampostería reforzada, y se inventa el horno de producción continua. Entre 1850 y

1870 se inventa y patenta el bloque de concreto, el ladrillo silico-calcareo y el concreto armado.

En Chicago en el año de 1891 se termina de construir el edificio Monadnokc a base de muros de mampostería, este edificio tiene muros portantes con una dimensión de 1.80m de espesor y 16 pisos de altura, cabe mencionar que el edificio fue diseñado con los criterios más modernos de la época los cuales tomaban en cuenta la aplicación de fuerzas horizontales y la deducción empírica de las dimensiones de los muros, lo que dio como resultado que la estructura ocupara el 25% del área total en planta, esto es similar a lo que especificaba el código de construcción de Nueva York en 1924, este código señalaba que un edificio de 12 pisos de altura de muros exteriores portantes requería por cada metro cuadrado de área bruta un 30% de metro cubico de mampostería. Desafortunadamente en ese tiempo no se poseía el suficiente conocimiento ingenieril sobre la mampostería. En la figura I.3 se muestra el edificio Monadnokc el cual es considerado actualmente un edificio histórico.



Figura I.3 Edificio Monadnokc en Chicago construido con muros portantes de mampostería. Fuente: Pinterest.com

I.2 Tipos de Piezas y Morteros

I.2.1 Tipo de Piezas

Actualmente en México se utilizan piezas naturales y artificiales, a continuación se mencionan sus características.

Piezas naturales

Las piezas de piedra natural se clasifican según la forma en que ha sido labrada la piedra, estas se muestran en la figura I.4 a continuación:



Figura I.4 Tipos de Mampostería de piedra natural, fuente D. Vasconcelos T. Sánchez, Edificaciones de Mampostería para Vivienda. 2003

La piedra natural tiene diversas propiedades mecánicas, estas se muestran en la tabla I.1 siguiente:

Piedra	Peso Volumétrico seco (t/m³)	Resistencia a compresión (kg/cm²)	Resistencia a tensión en Flexión (kg/cm²)	Módulo de Elasticidad (kg/cm²)
Areniscas	1.75 – 2.65	150 - 3200	60 - 120	40 - 200
Basaltos (piedra braza)	2.30 – 3.00	800 – 5800	200 - 300	100 - 300
Granito	2.40 - 3.20	800 - 3000	100 - 200	400 - 500
Mármol	2.40 – 2.85	300 - 3000	35 - 200	900

Tabla I.1 Propiedades mecánicas de la piedra natural, fuente: D. Vasconcelos T. Sánchez, Edificaciones de Mampostería para Vivienda. 2003

Las piedras no necesitarán ser labradas, pero se evitará, en lo posible, el empleo de piedras de formas redondeadas y de cantos rodados. Por lo menos, el 70 por ciento del volumen del elemento estará constituido por piedras con un peso mínimo de 300 N (30 kg), cada una.

Piezas artificiales

Las piezas artificiales varían según las propiedades de los materiales utilizados, el proceso de fabricación y las características geométricas de las mismas, van desde el artesanal hecho con arcilla y fibras naturales, los de concreto vibro compactados y los industrializados de arcilla extruida. Las normas técnicas complementarias 2017 (NTC) clasifican a las piezas como se ilustra en la figura I.4 que se muestra enseguida.

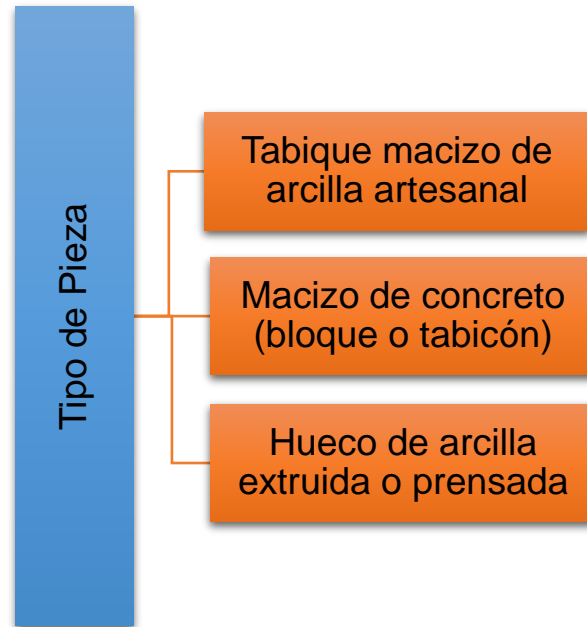


Figura I.3 Tipos de piezas artificiales según las NTC 2017, Fuente: Elaboración propia

Tabique macizo de arcilla artesanal

Este tipo de piezas es la más común, obviamente por su proceso de fabricación, sus dimensiones generalmente son 7x14x28cm y como mínimo de 5x10x19cm se considera pieza maciza aquella que las Normas Técnicas Complementarias definen como las que tienen en su sección transversal más desfavorable un área neta de por lo menos 75 por ciento del área bruta, y cuyas paredes exteriores no tienen espesores menores de 20 mm.

Tabique macizo de concreto, bloque y tabicón

Se fabrican con una mezcla de cemento – arena generalmente, y mediante un proceso de vibro-compactación. La diferencia entre bloque y tabicón son las dimensiones, el primero tiene 10x10x30cm y el segundo 6x10x24cm ambos como dimensiones mínimas

Tabique hueco de arcilla extruida o prensada (Gaceta Oficial , s.f.)

Son las que tienen, en su sección transversal más desfavorable, un área neta de por lo menos 50 por ciento del área bruta; además, el espesor de sus paredes exteriores no es menor que 15 mm. Para piezas huecas con dos hasta cuatro

celdas, el espesor mínimo de las paredes interiores deberá ser de 13 mm. Para piezas multiperforadas, cuyas perforaciones sean de las mismas dimensiones y con distribución uniforme, el espesor mínimo de las paredes interiores será de 7 mm. La figura 1.4 ejemplifica la diferencia entre pieza maciza y hueca.

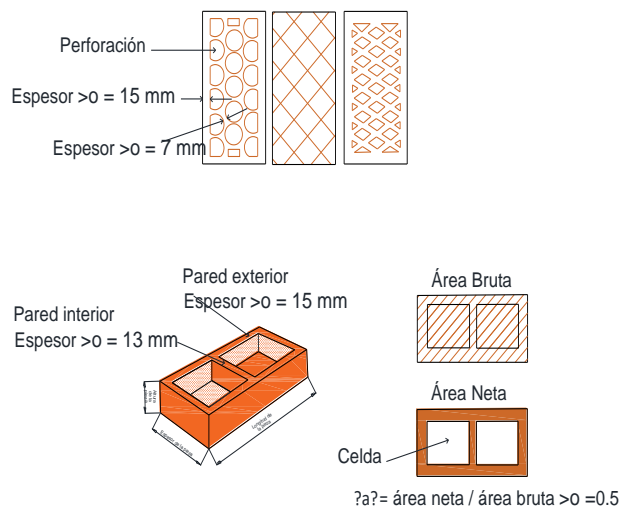


Figura I.4 Piezas huecas, Fuente: NTC CDMX 2017

Peso volumétrico mínimo

La normativa con la intención de que no se utilicen arenas muy ligeras en la fabricación de piezas, estipula en la tabla 1.2 los valores mínimos de peso volumétrico en estado seco:

Tipo de pieza y material	Valores en $\text{Kn/m}^3(\text{kg/m}^3)$
Tabique macizo de arcilla artesanal	13(1300)
Tabique hueco de arcilla extruida o prensada	17(1700)
Bloque macizo de concreto	17(1700)
Tabique macizo de concreto (tabicón)	15(1500)

Tabla I.2 Pesos volumétricos mínimos en estado seco, fuente: NTC2017

Absorción

Este parámetro es muy importante, se verifica bajo tres aspectos: absorción máxima, mínima e inicial. Involucran la adherencia con el mortero, si una pieza absorbe demasiada agua impedirá una junta adecuada, si por el contrario no absorbe lo suficiente el exceso de líquido dañará al mortero al momento de la colocación. La absorción máxima se estipula en la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013, los valores máximos recomendados se indican en la tabla 1.3:

Tipo de pieza	Absorción máxima de agua en % durante 24h
Bloques	9-20
Tabique recocido	13-21
Tabique extruido	12-19
Tabicones	9-20

Tabla I.3 Absorción máxima de agua en piezas, fuente: NMX-C-037-ONNCCE-2013

Las Normas Técnicas Complementarias 2017 indican los valores indicados en la tabla I.4 valores mínimos de resistencia de diseño f'_p y resistencia media \bar{f}_p a la compresión.

Tipo de pieza y material	f'_p Mpa (kg/cm ²)	\bar{f}_p Mpa (kg/cm ²)
Tabique macizo de arcilla artesanal	6(60)	9(90)
Tabique macizo o multiperforado de arcilla o concreto	10(100)	15(150)
Tabique macizo de arcilla o de concreto	6(60)	9(90)
Bloque macizo o multiperforado de arcilla o de concreto	10(100)	15(150)
Bloque hueco de arcilla o de concreto	6(60)	9(90)

Tabla I.4 Resistencias de diseño y media mínima permitida a compresión de piezas, fuente: NTC2017

La resistencia a la compresión de las piezas se obtendrá de acuerdo con la procedimiento de ensaye indicado en la norma NMX-C-036-ONNCCE, la resistencia de diseño se puede obtener de información ya recabada sobre las piezas o bien realizando un muestreo, este consiste en obtener tres muestras de diez piezas cada una, estas piezas se ensayan y la resistencia de diseño a compresión de la piezas se obtiene con la ecuación I.1

$$f'p^* = \frac{\overline{fp}}{1+2.5C_p} \quad \text{I.1}$$

En la cual:

\overline{fp} = Resistencia media a compresión de las piezas, referida al área bruta

C_p = Coeficiente de variación de la resistencia a la compresión de las piezas, que es igual a 0.2 para piezas provenientes de plantas que cuenten con control de calidad, 0.3 cuando el proceso de fabricación es mecanizado y 0.35 cuando se fabrican de manera artesanal.

I.2.2 Tipo de Morteros

El mortero es una mezcla de agregado fino, comúnmente arena, agua y uno o varios aglutinantes (cemento o cal hidratada generalmente)

El mortero que se utilice para unir piezas de mampostería debe cumplir con lo que especifica la norma NMX-C-486-ONNCCE, a su vez los agregados pétreos con la norma NMX-C-111-ONNCCE, el cemento hidráulico con la NMX-C-414-ONNCCE, el agua con la NMX-C-122-ONNCCE y la NMX-C-003ONNCCE para la cal hidratada.

Se clasifican según su resistencia en morteros Tipo I con resistencia a la compresión mayor o igual a 125kg/cm² y mortero Tipo II con resistencia menor a 125kg/cm² pero mayor o igual que 75kg/cm².

La resistencia a la compresión del mortero se obtiene como lo indica la norma NMX-C-061-ONNCCE obteniendo como mínimo tres muestras, cada una de tres probetas cubicas, la resistencia de diseño se obtiene con la ecuación I.2

$$f'_j = \frac{\bar{f}_j}{1+2.5C_j} \quad (1.2)$$

En la cual:

\bar{f}_j = Resistencia media a compresión de los cubos de mortero

C_j = Coeficiente de variación de la resistencia a la compresión del mortero, que se tomará igual a 0.10 cuando su fabricación es industrializada, 0.20 en el caso de ser dosificado y elaborado en obra.

Para las dosificaciones del mortero las normas técnicas complementarias 2017 especifican las proporciones que aparecen en la tabla I.5 en volumen para mortero hecho en obra.

Tipo	Partes de cemento hidráulico	Cemento de albañilería	Partes de cal hidratada	Partes de arena
I	1	-	0 a ¼	3
I	1	1	-	4 1/2
II	1	-	0 a ¼	4 1/2
II	1	½	-	6

Tabla I.5 Proporcionamientos, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra, fuente: NTC2017

Deben tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El empleo de arena muy fina, aumenta la contracción.
- Debe verificarse el módulo de finura.
- La cal hidratada mejora la adherencia, aumenta la impermeabilidad, logra una mezcla más plástica, retarda ligeramente el fraguado, pero reduce la resistencia.
- Debe prepararse el mortero sobre una superficie no absorbente, para evitar la pérdida de agua y la contaminación del mismo.
- El volumen de arena no será mayor a tres veces la suma de los cementantes
- Utilizar la mínima cantidad de agua hasta lograr una mezcla trabajable

Los morteros de cemento son recomendados por sus mejores propiedades mecánicas, su módulo de elasticidad es de 10,000 a 50,000 kg/cm². la cal hidratada hace un fraguado más lento, pero más plástico como ya se mencionó, en cambio los de cemento tienen fraguado rápido.

El Código de Edificación de Vivienda que emite la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) hace las siguientes recomendaciones:

- No utilizar la mezcla después de 24 h (mezcla sin agua)
- El mezclado debe hacerse por medios mecánicos y por un tiempo máximo de 4min
- En caso de ser necesario realizar un solo remezclado agregando más agua
- Utilizar los morteros de cemento portland un máximo de 2.5h después de hecha la mezcla.

I.3 Tipos de Mampostería

Mampostería de piedra braza

Se tienen pocos estudios sobre las propiedades mecánicas de esta mampostería, de pruebas realizadas con especímenes aproximadamente cúbicos de 40cm de lado se han obtenido valores de resistencia a la compresión de 200kg/cm² como máximo en mampostería de primera y mínimos de 120kg/cm² para mampostería ordinaria, como se ve los valores están por debajo de la resistencia de la piedra por si sola. No se conoce con adecuada aproximación el mecanismo de falla y se presume depende de la calidad del mortero. En la tabla I.6 se muestran resistencias de mamposterías de piedra braza de tercera en función del tipo de mortero, estas resistencia ya están afectadas por un factor de reducción conservador.

Tipo de mortero	f´m	V´m
	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
Mampostería juntaada con mortero mínimo tipo II	20	0.6
Mampostería juntaada con mortero de resistencia en compresión menor a 75kg/cm ² (no recomendable)	15	0.4

Tabla I.6 Resistencia en compresión de mampostería de piedra braza de tercera, fuente: NTC2017.

Mampostería de tabique

Como ya se mencionó las piezas que integran esta mampostería pueden ser de tabique rojo recocido (artesanal), tabique extruido, bloques y tabicones de concreto. Tiene un amplio uso en la edificación de casa habitación y conjuntos habitacionales. En la actualidad puede considerarse que con las técnicas de fabricación de las piezas se puede lograr un adecuado comportamiento estructural de la mampostería, sin embargo muchas veces no se cumplen las disposiciones normativas para su construcción aun en zonas sísmicas de alto riesgo. La edificación con mampostería de tabique extruido permite la construcción de edificios de varios niveles como el de la figura 1.5



Figura I.5 Multifamiliar de mampostería estructural, fuente: Saveraconstruccion.com

I.4 Propiedades Índice de la Mampostería de Tabique rojo Recocido

En México la edificación con mampostería de tabique rojo recocido es muy popular por su costo y disponibilidad, se indican a continuación los valores mínimos recomendados por las NTC2017, y las normas NMX-C-ONNCCE.

I.4.1 Resistencia a la compresión f'_m

La resistencia a la compresión de la mampostería se obtiene con alguno de los siguientes incisos:

a) Con ensayos de pilas construidas con las piezas y morteros utilizados en la obra

Para este caso se construirán mínimo nueve pilas, provenientes de tres lotes diferentes, cada pila deberá ser de pixas del mismo lote. La altura de estas será mínimo de tres piezas, cuidando que la relación de altura a espesor de la pila estará comprendida entre dos y seis, construidas se ensayaran a los 28 días, todo el proceso debe hacerse como lo marca la norma NMX-C-464-ONNCCE. La figura I.6 muestra una pila para el ensaye a compresión

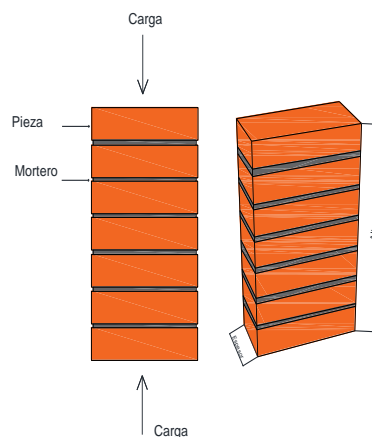


Figura I.6 Pila para prueba en compresión, fuente: NTC CDMX 2017

La resistencia de diseño a compresión se calcula con la ecuación I.3

$$f'_m = \frac{\overline{f_m}}{1+2.5C_m} \quad (1.3)$$

En la cual:

$\overline{f_m}$ = Resistencia media a compresión de las pilas, corregida por su relación altura a espesor y referida al área bruta,

C_m = Coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las pilas, que en ningún caso será menor 0.15

El esfuerzo medio obtenido de los ensayos se corregirá multiplicándolo por el factor correctivo de la tabla I.7

Relación altura espesor	2	3	4	5	6
Factor correctivo	0.75	0.90	1.00	1.05	1.06

Tabla I.7 Factor correctivo para las resistencias de pilas con diferentes relaciones altura a espesor, fuente: NTC2017

Para valores intermedios de la relación altura a espesor de la pila en la tabla I.7 se interpolará linealmente.

b) Con los datos de resistencia de diseño de las piezas y el mortero

Este inciso aplica cuando los bloques tienen una resistencia a la compresión de:

$$f'p \geq 6Mpa(60 \frac{kc}{cm^2})$$

Y los tabiques y tabicones

$$f'p \geq 10Mpa(100 \frac{kc}{cm^2})$$

Entonces se puede utilizar la tabla I.8

f'p Mpa (kg/cm ²) ¹	f'm Mpa (kg/cm ²)	
	Mortero I	Mortero II
6(60) ²	2,5(25)	2(20)
7.5(75) ²	4(40)	3.5(35)
10(100)	5(50)	4.5(45)
15(150)	7.5(75)	6(60)
≥20(200)	10(100)	9(90)

¹Para valores intermedios de f'p se interpolará linealmente para un mismo mortero

²Sólo para el caso de piezas huecas

Tabla I.8 Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de concreto, sobre área bruta, fuente: NTC CDMX 2017

Para la resistencia de diseño a compresión de la mampostería de arcilla se puede utilizar la tabla I.9

f'p Mpa (kg/cm ²) ¹	f'm Mpa (kg/cm ²)	
	Mortero I	Mortero II
6(60) ²	2(20)	2(20)
7.5(75) ²	3(30)	3(30)
10(100)	4(40)	4(40)
15(150)	6(60)	6(60)
20(200)	8(80)	7(70)
≥30(200)	12(120)	9(90)

¹Para valores intermedios de f'p se interpolará linealmente para un mismo mortero

Tabla I.9 Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de arcilla, sobre área bruta, fuente: NTC CDMX 2017

Para hacer uso de las tablas I.8 y I.9 se debe considerar:

- La relación altura espesor de las piezas no debe ser menor que 0.5;
- Las juntas de la mampostería deben tener espesores de junta horizontal de 10 y 12mm para pizas de fabricación mecanizada y 10 a 15mm de origen artesanal;
- La resistencia a compresión se debe obtener de los ensayos y de la ecuación I.1

c) Resistencia de la mampostería para edificaciones Tipo I

Una estructura de mampostería se clasificará como estructura Tipo I si cumple simultáneamente con los requisitos siguientes: (Gaceta Oficial , s.f.)

- a) tiene una superficie construida no mayor que 250 m²;
- b) tiene hasta dos niveles, incluyendo niveles de estacionamiento;
- c) la estructura es de los siguientes géneros: habitación unifamiliar o plurifamiliar, servicios, industria, infraestructura o agrícola, pecuario y forestal;
- d) si es de género habitacional plurifamiliar, no deberá haber más de diez viviendas en el predio, incluyendo a las existentes; y

e) las estructuras del grupo A, de acuerdo con la clasificación de las estructuras de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, no podrán ser del Tipo I. Una estructura que no cumpla los requisitos para ser Tipo I se clasificará como estructura Tipo II.

Considerando lo anterior y el cumplimiento de los apartados 1 y 2 del inciso b) la resistencia a compresión de diseño de la mampostería se puede tomar de la tabla I.10

Tipo de pieza	f'_m Mpa(kg/cm ²)
Tabique macizo de arcilla artesanal	1.5(15)
Tabique de arcilla extruido	2.0(20)
Bloque de concreto	1.5(15)
Tabique de concreto	1.5(15)

Tabla I.10 Resistencia a compresión para diseño de la mampostería para algunos tipos de mampostería, sobre área bruta, fuente: NTC2017

I.4.2 Resistencia al cortante V'_m

La resistencia de diseño a la compresión diagonal V'_m se determinará con alguna de las siguientes opciones

a) Ensayes de muretes construidos con las piezas y morteros que se emplearán en la obra

Para este ensaye se construirán muretes cuadrados de longitud mínima de una y media veces la longitud de la pieza, estos se someterán a una carga de compresión monótona a lo largo de su diagonal y el esfuerzo cortante medio se calculará dividiendo la carga máxima entre el área bruta del murete medida sobre la diagonal. El murete se ilustra en la figura I.7

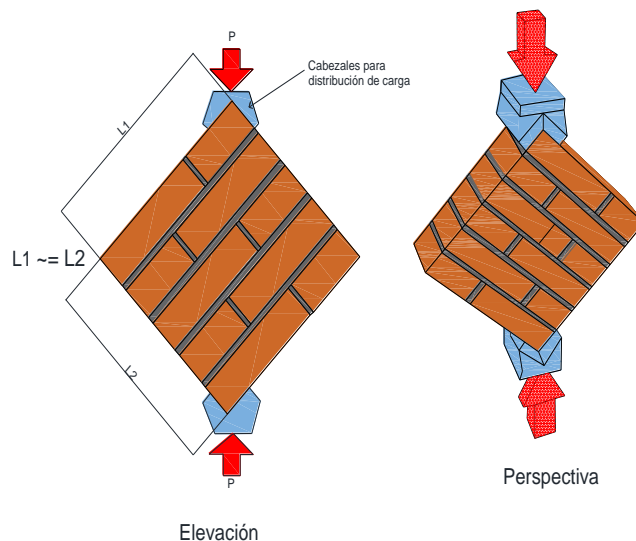


Figura I.7 Murete para prueba de compresión diagonal, fuente: NTC2017

El procedimiento debe realizarse atendiendo las indicaciones de la norma NMX-C-464-ONNCCE

La resistencia a la compresión diagonal se obtiene con la ecuación I.4

$$V'_m = \frac{\overline{v}_m}{1+2.5C_v} \quad (I.3)$$

En la cual:

\overline{v}_m = Resistencia media a compresión diagonal de muretes, sobre área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga y;

C_m = Coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de muretes, que en ningún caso será menor 0.20.

Las NTC2017 indican que para muros que dispongan de algún sistema de refuerzo cuya contribución a la resistencia se quiera evaluar o que tengan características que no pueden representarse en el tamaño del murete, las pruebas de compresión diagonal antes descritas deberán realizarse en muros de al menos 2 m de lado.

a) Resistencia a compresión diagonal para diseño de edificaciones Tipo 1

Para edificaciones del tipo I se pueden utilizar los valores de la tabla I.11

Tipo de pieza	V'm Mpa(kg/cm ²)
Tabique macizo de arcilla artesanal	0.2(2)
Tabique de arcilla extruido	0.2(2)
Bloque de concreto	0.2(2)
Tabique de concreto	0.2(2)

Tabla I.10 Resistencia a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería, sobre área bruta, fuente: NTC CDMX 2017

I.4.3 Modulo de Elasticidad E_m

El módulo de elasticidad de la mampostería E_m se determina de alguna de las dos formas siguientes:

a) Con ensayos de pilas construidas con las piezas y morteros que se emplearan en la obra

Para el cálculo del módulo se utilizara el proceso especificado en la norma NMX-C-464-ONNCCE para cargas de corta duración, para cargas sostenidas se deberán considerar las deformaciones diferidas debidas al flujo plástico de las piezas y el mortero. Optativamente, el módulo de elasticidad para cargas de corta duración, obtenido del ensaye de pilas, se podrá dividir entre 2.3 si se trata de piezas de concreto, o entre 1.7 si se trata de piezas de arcilla o de otro material diferente del concreto.

b) Determinación a partir de la resistencia de diseño a compresión de la mampostería

- Para mampostería de tabiques y bloques de concreto

Cargas de corta duración

$$E_m = 800 f'_m \quad (1.4)$$

Para cargas sostenidas

$$E_m = 350 f'_m \quad (1.5)$$

- Para mampostería de tabique de arcilla y otras piezas

Cargas de corta duración

$$E_m = 600 f'_m \quad (1.6)$$

Para cargas sostenidas

$$E_m = 350 f'_m \quad (1.7)$$

I.4.4 Modulo de Cortante G_m

Se determinara con cualquiera de las dos opciones siguientes:

a) Con ensayos de muretes contruidos con las piezas y morteros que se utilizaran en la obra

En este caso se utilizará el proceso especificado en la norma NMX-C-464-ONNCCE.

b) A partir del módulo de elasticidad de la mampostería

Obtenido el módulo de elasticidad mediante ensaye el módulo de cortante de la mampostería se calcula con la ecuación:

$$G_m = 0.20E_m \quad (1.8)$$

II. ENSAYES EN LA MAMPOSTERÍA

En este capítulo se presenta el manual de ensayos para la obtención de las propiedades en la mampostería con base en las normas NTC-C-ONNCCE, que son referencia en las Normas Técnicas Complementarias para la Construcción y Diseño de Estructuras de Mampostería. Se explica paso a paso el proceso dada la importancia en la exactitud de los resultados y se anexa al final de cada ensaye un formato para la entrega de resultados.

El primer ensaye es aplicable para las piezas que forman la mampostería, aquí se describe el proceso desde la selección de los especímenes hasta su ensaye conforme lo marca la norma. En la ciudad de Puebla es de uso común el tabique rojo recocido, de ahí la importancia de disponer de los valores de sus propiedades para el diseño estructural. Para los ensayos se deben seleccionar las piezas que cumplan con las dimensiones que marca la norma.

En el caso del mortero se indican proporciones para el mismo los cuales se llevan a ensaye y se hace hincapié en la importancia de disponer un mortero que cumpla con las resistencias mínimas para fines estructurales.

En el ensaye para obtener la resistencia a la compresión axial y diagonal de la mampostería se explica igualmente el procedimiento para obtener estos datos de gran importancia en el diseño de estructuras de mampostería.

Finalmente se indica el proceso para la obtención del módulo de elasticidad E_m y módulo de cortante G_m cuyos ensayos deben ser realizados con bastante cuidado para obtener resultados confiables, que puedan ser utilizados en el análisis estructural.

II.1 Resistencia a la Compresión $f'p$ de las Piezas

II.1.1 Antecedentes

Las piezas que forman parte de la mampostería estructural se clasifican de acuerdo a su origen o proceso requerido para hacerlas adecuadas para su uso:

- Piezas naturales: son los tipos de piezas que son obtenidas y utilizadas sin darles un proceso para su utilización.
- Piezas labradas: son producto de las piezas de mampostería natural a las cuales se les ha dado un tratamiento, el cual consiste en lijar, labrar y afinar los lados de estas con la intención de darle un acabado aparente para su utilización.
- Piezas artificiales: son piezas fabricadas las cuales son principalmente de arcilla, debido a que esta, en presencia de humedad puede ser moldeada y procesada para su utilización. Se clasifican en tabique macizo de arcilla artesanal, macizo de concreto (bloque o tabicón) y hueco de arcilla extruida o prensada.

II.1.2 Objetivo

Obtener la resistencia a la compresión axial simple en piezas de fabricación artesanal o industrial

II.1.3 Especificaciones

La resistencia a la compresión de las piezas de tabique, tabicón, bloque o adoquín es un dato que permite conocer si estas cumplen con los valores mínimos que especifica la norma como se indica en la tabla II.1 siguiente:

Tipo de pieza y material	f'p Mpa (kg/cm²)	f̄p Mpa (kg/cm²)
Tabique macizo de arcilla artesanal	6(60)	9(90)
Tabique macizo o multiperforado de arcilla o concreto	10(100)	15(150)
Tabique macizo de arcilla o de concreto	6(60)	9(90)
Bloque macizo o multiperforado de arcilla o de concreto	10(100)	15(150)
Bloque hueco de arcilla o de concreto	6(60)	9(90)

Tabla II.1 Resistencia media y de diseño a compresión en piezas

Si las piezas no cumplen con la tabla anterior significa que la estructura a construir tendrá menor capacidad de soportar los elementos mecánicos a la que será sometida durante su vida útil.

Para este ensaye se sigue el procedimiento indicado en la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013 y considerando también a las normas técnicas complementarias para la construcción y diseño de estructuras de mampostería 2017.

II.1.4 Equipo y material a utilizar

Equipo	Material
<ul style="list-style-type: none"> • Máquina de ensayo de tipo a compresión o universal • Cabezal con asiento semiesférico • Placa de distribución de carga • Escuadra de molde biselado • Placa cabeceadora 	<ul style="list-style-type: none"> • Manual de laboratorio • Azufre • Aceite vegetal fino • Piezas
Equipo de seguridad/ protección personal	Equipo de seguridad adicional
<ul style="list-style-type: none"> • Guantes de algodón • Casco 	<ul style="list-style-type: none"> • Botas de seguridad • Bata

Tabla II.1 Equipo y material a utilizar

II.1.5 Procedimiento de ensaye

Disponiendo de las piezas a ensayar se verifica el equipo y dispositivos para realizar el ensaye.

Obtención de los especímenes

Las piezas a ensayar deben ser de cuando menos tres lotes diferentes (mínimo de cinco piezas cada uno), las cuales pueden ser obtenidas con el distribuidor o directamente con el fabricante (de preferencia con una semana de haber sido elaborados), siguiendo un procedimiento semejante al que realizan las personas o el constructor.

Cuidando que las piezas sean de dimensiones uniformes, no estén despostilladas o presenten fisuras, se deben identificar y registrar en el formato correspondiente.

Dimensiones

Las dimensiones de las piezas deberán ser obtenidas con aproximación al milímetro, se registrarán el largo, ancho y espesor, mínimo tres veces y se calculará un promedio.

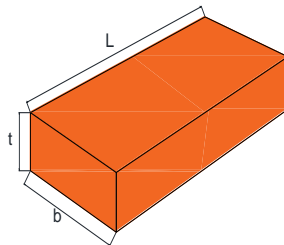


Figura II.1 Dimensiones de la pieza.

Almacenamiento

Los ensayos de los especímenes se deberán realizar a los 28 días \pm 24 horas después de su producción. Las piezas deben ser almacenadas en el laboratorio por 48 horas, no deben apilarse y deben estar a una separación mínima de 13mm a una temperatura de $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa menor a 89%.

Máquina de ensayo

Esta debe estar calibrada con un error máximo del 3%, tener la capacidad de carga para llevar a la falla a las piezas, debe aplicar la misma con una velocidad constante y sin impactos. Estar provista de una caratula con incremento progresivo de cuando menos el 10% de su capacidad y la aproximación de las lecturas debe ser aproximadamente un 2.5% de la fuerza aplicada.

Si la maquina es digital está deberá contar con un dispositivo que proporcione la carga máxima aplicada.

Placas de acero

Para realizar el ensaye se utilizara una placa de carga con asiento semi esférico y una placa de distribución de carga. La placa de acero que se utilizará para distribuir de manera uniforme la carga sobre el área de la pieza, deberá ser plana o de lo contrario no deberá de tener más del 0.1% de desnivel.

El asiento semiesférico debe estar colocado al centro de la placa de distribución, verificando que coincida con el centro de la pieza.

La placa de carga de la maquina debe tener una dimensión mínima de 160mm

El espesor mínimo de las placas deberá ser de 13mm o mayor que la distancia máxima libre de la placa de carga al borde de la pieza entre tres, como indica la figura II.2

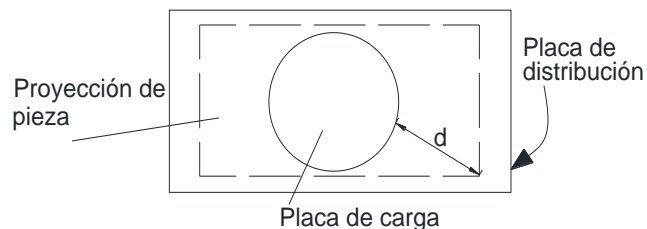


Figura II.2 Distancia que define el espesor mínimo de las placas

Cabeceo de las piezas

El cabeceo de las piezas se podrá realizar con materiales como: azufre, mortero-azufre o pasta de yeso, pero por facilidad del trabajo, se recomienda con azufre en las caras que se someterán a compresión en un espesor máximo de 5mm.

Colocación de la probeta

La probeta se deberá de colocar de tal forma que el pistón que aplica la carga esté en el centro de la pieza para una distribución uniforme de esta (Figura II.3).

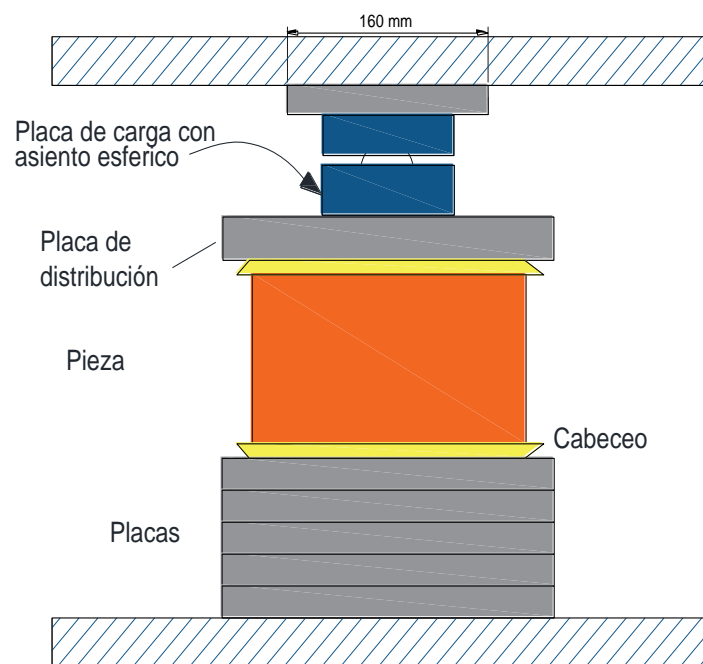


Figura II.3 colocación de la probeta para ensaye

La pieza será colocada sobre una superficie plana y sobre esta la placa de distribución, la cual al mismo tiempo llevará un cabezal con asiento semiesférico sobre esta. El diámetro de la esfera no debe ser menor de 100 mm.

La colocación de la probeta se llevará en la siguiente forma:

- Se deberán limpiar las superficies que se van a cabecear.
- La probeta tiene que estar centrada en dirección de la carga.
- Colocar la pieza sobre una superficie plana para corroborar la verticalidad de la carga.

Velocidad de aplicación de carga

La carga que se aplicará en la pieza deberá ser uniforme y de acuerdo a la norma NMX-C-036-2013 tiene que ser continua hasta la falla del espécimen con una velocidad entre 84 kg/cm²-min y 210 kg/cm²-min.

II.1.6 Cálculos y Resultados

Finalmente se buscará determinar el esfuerzo de diseño de las piezas ensayadas con la siguiente fórmula:

Ecuación 8.1:

$$f'p = \frac{\overline{fp}}{1 + 2.5 Cp}$$

\overline{fp} → promedio entre los esfuerzos resistentes

C → Coeficiente de variación entre los esfuerzos que en ningún caso será menor a 0.10

Cp Se calcula como el cociente de la desviación estándar entre la media de los esfuerzos calculados.


Las normas técnicas complementarias indican un mínimo de 30 piezas de tres lotes para utilizar un valor de $Cm = 0.1$ en caso contrario se utilizara un valor de 0.20 cuando la producción sea mecanizada y cuente con control de calidad, 0.30 para piezas de fabricación mecanizada pero sin control de calidad y 0.35 para piezas de fabricación artesanal.

La prueba se va a llevar a cabo en la prensa universal bajo un efecto de compresión, todas las piezas deberán llegar a la falla.

Para la aceptación del espécimen se tomarán en cuenta las siguientes especificaciones:

- La pieza a probar no debe tener desmoronamiento.
- Debe tener una superficie horizontal, es decir, tanto en cabeceo como en colocación.
-

Formato de ensaye

 BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE ESTRUCTURAS											
PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE EN PIEZAS f'p											
OBRA: (1)					EXPEDIENTE No: (6)						
LOCALIZACIÓN: (2)					ENSAYE No: (7)						
EMPRESA: (3)					FECHA DE MUESTREO: (8)						
IDENTIFICACION DE LOTE: (4)					FECHA DE RECIBO: (9)						
TIPO DE PIEZA: (5)					FECHA DE INFORME: (10)						
NP	CLAVE	EDAD (Días)	DIMENSIONES (cm)			ÁREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (Ton)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (KG/CM ²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	OBSERVACIONES
			ANCHO	LARGO	ALTO						
1	(11)	(12)	(13)			(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)
2											
3											
4											
5											
7											
8											
9											
10											
PROMEDIO (20)											
REFERENCIAS: NMX-C-036-0NNCCE-2013											
OBSERVACIONES: (21)											
RESULTADOS OBTENIDOS: (22)											
LABORATORISTA (23)						RESPONSABLE DE LABORATORIO (24)					
LOS RESULTADOS DEL PRESENTE INFORME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE A LA(S) PROBETA(S) ENSAYADA(S)											

Instructivo de llenado

- (1) Nombre específico de la obra que por su magnitud o importancia es tipo II o requiere el ensaye
- (2) Localización de la obra
- (3) Empresa o dependencia a cargo
- (4) Se debe identificar el lote al cual se está haciendo el estudio
- (5) Tabique rojo recocido artesanal o industrializado, tabicón o bloque de concreto, celosía o adoquín.
- (6) Número de expediente si es que se cuenta
- (7) Numero de ensaye (al realizar varios debe tenerse un control)
- (8) Fecha en que se realizó el muestreo de las piezas
- (9) Fecha en que se recibió en laboratorio a las piezas
- (10) Fecha en que se entrega el informe de los ensayes
- (11) Clave de la pieza en caso de que sea especificada
- (12) Edad del espécimen al momento de hacer el ensaye
- (13) Dimensiones de la pieza
- (14) Área normal a la carga en cm^2
- (15) Carga máxima aplicada en toneladas
- (16) Carga máxima aplicada en KN
- (17) Esfuerzo máximo a compresión en kg/cm^2
- (18) Esfuerzo máximo a compresión en MPa
- (19) Observaciones de las piezas que se consideren pertinentes
- (20) Promedio de dimensiones y resistencias.
- (21) Observaciones generales
- (22) Se especifica la resistencia de diseño a compresión de las piezas $f'p$
- (23) Y (24) firmas de responsables

II.2 Resistencia a la Compresión del Mortero f'j

II.2.1 Antecedentes

El mortero estructural es una mezcla formada a partir de cementantes y agregados, en algunos casos aditivos los cuales tienen una función en específico. La principal característica del mortero es que, debido a que está formado por materiales sueltos y cementantes que reaccionan en presencia de agua, tiene dos estados: líquido y sólido. En estado líquido nos da la facilidad de manipularlo y hacerlo adquirir la forma deseada. El mortero tiene la capacidad de fraguar tanto en el aire como en el agua y al momento de hacerlo crea una masa endurecida que adquiere una resistencia a compresión la cual depende de la cantidad de cada elemento que lo compone hasta alcanzar su resistencia máxima a compresión a la edad teórica de 28 días.

Cementante

Material orgánico y pulverizado finamente que, en presencia de agua tiene la capacidad de endurecerse y adquiere la forma del molde que lo contenga y al mismo tiempo permita la unión de piezas de modo que el resultado de este proceso sea un cuerpo capaz de soportar deformaciones.

Cemento hidráulico

Material producto de la pulverización de clinker y sulfatos de calcio en alguna de sus formas.

Fluidez

Una medida de la consecuencia del mortero fresco. Se mide en porcentaje del diámetro del mortero dispersado de acuerdo al original probado en una mesa de fluidez. La fluidez queda en función del contenido de agua.

II.2.2 Objetivo

Determinar mediante ensaye en laboratorio la resistencia a la compresión simple en el mortero utilizado para unir piezas en muros de mampostería.

II.2.3 Especificaciones

La fabricación y ensaye de cubos de mortero debe hacerse con base en la norma NMX-C-061-ONNCCE-2015, los morteros están clasificados según su resistencia en morteros tipo I y II, los primeros con una resistencia igual o mayor a 125 kg/cm^2 y los segundos con una resistencia mínima de 75 kg/cm^2 pero menor al tipo I.

El cálculo de la resistencia a compresión del mortero estructural se realiza a partir de una prueba simple, la cual consta en tomar una muestra del mortero que se va a utilizar para la fabricación de las probetas y esta se colocará en moldes cúbicos con dimensiones aproximadas de 5 cm por lado (mínimo 4.987cm y 5.013cm máximo), se ensayaran 3 cubos por cada día de prueba en los días $1(\pm 30\text{min})$, $3(\pm 1\text{hr})$, $7(\pm 3\text{hr})$ y $28(\pm 12\text{hr})$, después de la fabricación de los mismos.

II.2.4 Equipo y material a utilizar

Material	Equipo
<ul style="list-style-type: none">• Cemento• Arena• Agua• Franela	<ul style="list-style-type: none">• Cuchara plana• Balanza• Prensa de compresión universal
Equipo de seguridad/ protección personal	Equipo de seguridad adicional
<ul style="list-style-type: none">• Botas de seguridad• Bata	<ul style="list-style-type: none">• Cubre boca

Tabla II.2 Equipo y material a utilizar para el ensaye a compresión del mortero.

II.2.5 Procedimiento de Ensaye

Se elaboran tres cubos por día de ensaye en este caso se especifica para tres, siete y 28 días, lo que da un total de 9 cubos, la norma indica la proporción a utilizar para la fabricación de los cubos, cuidando que la fluidez este en los límites indicados más adelante.

Elaboración de la mezcla

La proporción en volumen para fabricar los cubos de mortero estructural es la siguiente:

1 parte de cemento, $\frac{1}{4}$ parte de cal hidratada y $2\frac{3}{4}$ partes de arena

Con una relación agua cemento de 0.485

En el caso de utilizar un mortero cemento arena, se puede utilizar una proporción en peso de una parte de cemento por 2.75 de arena, para nueve cubos resultan las siguientes cantidades:

740g de cemento, 2035g de arena y 359ml de agua

Estas cantidades son para un cemento CPO en caso de utilizar un cemento CPC se debe cuidar que la fluidez sea del $110\% \pm 5$

También al momento de realizar los ensayos a compresión y calcular la resistencia de diseño se debe revisar que esta sea mayor o igual a la especificada para el mortero tipo I (estructuras tipo II) o la mínima especificada para mortero tipo II. En caso de no cumplirse lo anterior las proporciones anteriores deben cambiarse de forma que se alcancen estas resistencias.

Obtención de la fluidez

Después de elaborarse el mortero se procede de manera inmediata a realizar la prueba de fluidez.

La relación agua-cemento es fundamental para el mortero ya que con ella obtenemos un valor el cual nos indica la fluidez del mortero, la cual debe estar dentro del parámetro que indica la norma.

La fluidez se va a obtener a través de un proceso llevado a cabo en la mesa de fluidez, es un experimento simple el cual consta de colocar una muestra del mortero realizado en el instante de estar mezclado perfectamente y colocado dentro de un molde cónico en dos capas cuyo diámetro inferior y altura son conocidos, son dejados en reposo un minuto dentro del molde, y al momento de retirar se le

aplicarán 25 golpes verticales dados en 10 segundos con una altura de 1 cm van a alterar sus dimensiones y con esos datos obtendremos que:

$$fluidez = \frac{diámetro_{final}}{diámetro_{inicial}}$$

Las figuras II.4 y II.5 muestran el procedimiento para la obtención de la fluidez



Figura II.4 Llenado del molde cónico



Figura II.5 Percusión en mesa de fluidez

Elaboración de los cubos

Los moldes para los cubos de mortero deben estar recubiertos de aceite y de un material lo suficientemente rígido y resistentes al mortero, con las dimensiones indicadas anteriormente.

El llenado de los moldes consta de un proceso simple, similar al del concreto en el cual se le tienen que expulsar el aire con una repetición de 32 golpes los cuales se darán en un lapso de 15 segundos y estos serán dados con una pieza de acero macizo, se harán en dos capas para permitir la expulsión de la mayor cantidad de aire. Dichos golpes se darán de la siguiente forma gráfica en la figuras II.5 y II.

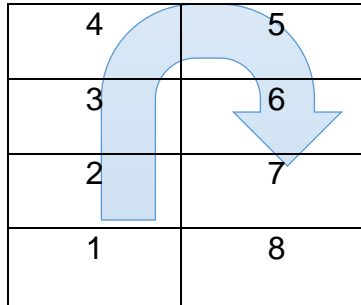


Figura II.5 Llenado de los moldes

Durante los primeros 8 golpes esta será la forma de darlos, los próximos 8 golpes, se darán con un ángulo de rotación de 90°, es decir:

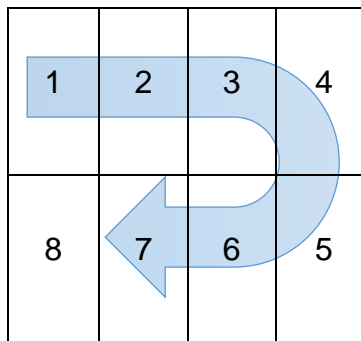


Figura II.6 Llenado de los moldes

De esta forma se irán alternando hasta completar los 32 golpes en el llenado de cada abertura de 50mm de lado

Almacenamiento

Terminado el llenado de los moldes estos se almacenaran junto con la placa inferior en el cuarto de curado y a las 24 horas se podrán retirar de los moldes para poder ser curados en agua saturada de cal en la cual permanecerán hasta las edades de siete, 14 y 28 días para ser sometidos al ensaye a compresión.

Ensaye

El ensaye a compresión simple se realizara en una máquina de compresión universal con la capacidad y precisión requerida como se ha indicado en la prueba a compresión de las piezas.

Al realizar los ensayos se revisará que las caras de los cubos sean regulares para los cual se pueden pulir con lima en las caras que serán sometidas a compresión, no es necesario el cabeceo con mortero u otro material por las dimensiones de los cubos.

Los datos obtenidos de carga a compresión se registraran en el formato correspondiente a este ensaye.

II.2.6 Cálculos y resultados


Para la resistencia de diseño del mortero empleado se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$fj' = \frac{\overline{f_m}}{1 + 2.5 Cj}$$

Cj → Coeficiente de variación de la resistencia a la compresión del mortero que será igual a 0.1 para fabricación industrializada y 0.20 en el caso de ser elaborado y dosificado en obra.

$\overline{f_m}$ → Resistencia promedio a la compresión en kg/cm² o Mpa

II.2.7 Formato de ensaye

 BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE ESTRUCTURAS					
PRUEBA A COMPRESIÓN SIMPLE EN EL MORTERO f'j					
OBRA: (1)			EXPEDIENTE No: (6)		
LOCALIZACIÓN: (2)			FECHA DE MUESTREO (7)		
EMPRESA: (3)			FECHA DE RECIBO: (8)		
IDENTIFICACION DE LO TE: (4)			FECHA DE INFORME: (9)		
PROPORCION: (5)			CEMENTO: (10)		
MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)				OBSERVACIONES
	3	7	14	28	
(11)	(12)	(12)	(12)	(12)	(13)
PROMEDIO (14)					
REFERENCIAS: NMX-C-061-0NNCCE-2015					
OBSERVACIONES: (15)					
CALCULOS Y RESULTADOS: (16)					
LABORATORISTA (17)			RESPONSABLE DE LABORATORIO (18)		
LOS RESULTADOS DEL PRESENTE INFORME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE A LA(S) MUESTRA(S) ENSAYADA(S)					

II.2.8 Instructivo de llenado

- (1) Nombre específico de la obra que por su magnitud o importancia es tipo II o requiere el ensaye
- (2) Localización de la obra
- (3) Empresa o dependencia a cargo
- (4) Se debe identificar el lote al cual se está haciendo el estudio
- (5) Proporción utilizada para elaborar el mortero
- (6) Número de expediente si es que se cuenta
- (7) Fecha en que se realizó el muestreo
- (8) Fecha en que se recibió en laboratorio a las piezas
- (9) Fecha en que se entrega el informe de los ensayes
- (10) Marca de cemento utilizado
- (11) Clave de la mezcla
- (12) Resistencias a compresión simple a los 3,7,14 y 28 días
- (13) Observaciones del cubo en específico
- (14) Promedio de las resistencias a 3, 7,14 y 28 días
- (15) Observaciones generales
- (16) Cálculo de la resistencia a la compresión de diseño del mortero.
- (17) Y (18) firmas del personal de laboratorio

II.3 Resistencia a la Compresión f'_m de la Mampostería

II.3.1 Antecedentes

La resistencia a la compresión simple de la mampostería f'_m es un parámetro importante para el diseño de estructuras construidas con este material, para obtener este parámetro se fabrican pilas con las piezas y morteros en análisis, la norma NMX-C-464-ONNCCE-2010 especifica las dimensiones de las pilas a construir. Para este ensaye ya se debe disponer de la proporción del mortero que cumpla con las resistencias requeridas y de la resistencia de la pieza para fabricar las probetas.

II.3.2 Objetivo

Determinar mediante un ensaye a compresión axial simple la resistencia a la compresión de la mampostería f'_m

II.3.3 Especificaciones

Debido a que la resistencia a la compresión de las pilas está influenciada por la relación de esbeltez, la norma especifica que la altura de la pila debe ser de 2 a 6 veces el espesor (dimensión mínima de las piezas) y que se aplique un factor correctivo a la resistencia de diseño cuyo valor es el mostrado en la tabla II.3. las pilas se construyen con al menos tres piezas una sobre la otra, también se señala que la junta de mortero deberá tener un espesor máximo de 1.2cm para piezas de fabricación mecanizada y 1.5cm para artesanales.

Relación altura espesor	2	3	4	5	6
Factor correctivo	0.75	0.90	1.00	1.05	1.06

Tabla II.3 Factor correctivo para las resistencias de pilas con diferentes relaciones altura a espesor, fuente: NTC CDMX 2017

Se requieren mínimo tres probetas para obtener la resistencia promedio y posteriormente la resistencia de diseño. Cada pila deberá ser construida con piezas tomadas de manera aleatoria pero que pertenezcan al mismo lote.

Para el control de calidad en obra la norma indica que se construirán tres pilas por cada 3000 m² de muro o fracción y por cada planta, se excluyen las edificaciones tipo I es decir aquellas que no son tipo A, que tienen una superficie construida menor a 250 m², que no tienen más de dos niveles y cuyo destino es la vivienda unifamiliar, plurifamiliar, infraestructura agrícola, pecuaria o forestal. Las pilas se fabricaran en obra con las piezas y proporciones de mortero que se estén utilizando.

II.3.4 Equipo y material a utilizar

Material	Equipo
<ul style="list-style-type: none"> • Cemento • Arena • Agua • Franela • Piezas (tabique, tabicón o bloque) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cabezal con asiento semiesférico • Placa de distribución de carga • Celda de carga • Marco de reacción • Data Loger Metronic • Balanza • Cuchara de albañil • Junteador • Charola • Nivel • Plomo
Equipo de seguridad/ protección personal	Equipo de seguridad adicional
<ul style="list-style-type: none"> • Botas de seguridad • Bata • Guantes • Casco • Faja 	<ul style="list-style-type: none"> • Cubre boca

II.3.5 Procedimiento

Fabricación de las pilas

Se debe disponer previamente de la proporción de mortero que cumpla con las resistencias mínimas para mortero tipo I o II, fabricar el mortero y no olvidar que se deben realizar tres cubos por cada mezcla. Previamente saturar en agua las piezas un máximo de dos horas, de forma que la superficie solo se encuentre húmeda y no aporte o absorba agua de la mezcla de mortero.

Colocación de las piezas

Las piezas se colocan de una forma simple, una sobre otra, estarán unidas entre sí con mortero, cuidando la verticalidad, el nivel de la pieza y el espesor de la junta, para lo cual se puede utilizar un junteador como se muestra en la figura II.7, en las figuras se ilustra la revisión del nivel y la verticalidad de las pilas.



Figura II.7 junteador (uso opcional)



Figura II.8 revisión de la verticalidad y nivel de las pilas

Almacenamiento

Una vez construidas las pilas estas deberán etiquetarse con la fecha y número de lote y no ser movidas en 7 días, almacenadas y ensayadas a los 28 días con un margen de ± 24 horas, en un lugar con temperatura a $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$.

Ensaye

Cuando se hayan cumplido los 28 días después de la fabricación los especímenes se podrán ensayar para determinar la resistencia a compresión y para ello se deberán registrar las dimensiones de las probetas (altura, ancho y longitud) en el formato correspondiente con aproximación al milímetro

Cabeceo

El cabeceo se puede realizar con azufre u otro material en un espesor no mayor a 5mm y con una resistencia mayor a la de la mampostería, la superficie cabeceada debe ser plana con una tolerancia de ± 0.05 en una longitud de 150mm en dos direcciones ortogonales.

Velocidad de carga

La norma aplicable indica que la carga aplicada debe tener una velocidad que ronde entre $15 \text{ kg/cm}^2\text{-min}$ y $30 \text{ kg/cm}^2\text{-min}$, es decir, que sea de acuerdo al área de cada espécimen.

Máquina de ensaye

Esta debe tener la capacidad de aplicar la carga que produzca la falla en los especímenes, aplicar la carga con la velocidad calculada según las dimensiones y lo indicado anteriormente, debe tener dispositivos o caratulas que permitan una aproximación de 2.5% de la carga máxima y una graduación progresiva al menos del 10% de su capacidad

La máquina de ensaye debe estar provista de dos bloques solidos de acero uno con asiento esférico de diámetro no mayor a 250mm, el centro de la esfera debe coincidir con el centro de la cara de la superficie de apoyo, el diámetro de la esfera debe ser de cuando menos 100mm, en la parte inferior del bloque con asiento esférico se colocará una placa de distribución de carga. El bloque de apoyo en la

parte inferior debe tener un espesor de cuando menos 22.5mm. en la figura II.9 se muestran estos componentes.

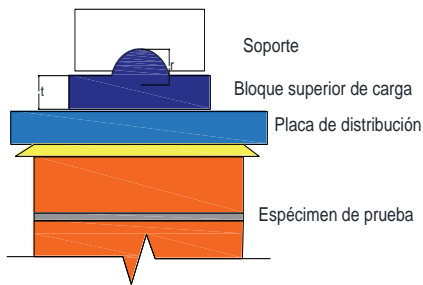


Figura II.9 Bloque de carga para ensaye a compresión

Colocación de la probeta

Las probetas a ensayar no deben presentar fisuras, despostillamientos o haber sido sometidas a impactos. Estas se limpian en su superficie al igual que las placas de distribución, se verificará que la probeta al ser colocada este alineada verticalmente con las placas superior e inferior y el eje del bloque superior de asiento esférico.

Aplicación de carga

Se aplica la carga con la velocidad indicada en la norma llevando a la falla a los especímenes, se toma nota de la carga y el tipo de falla, registrando los datos en el formato correspondiente. Al terminar el ensaye es necesario identificar el tipo de falla presentada en la probeta, estas se indican en la figura II.10

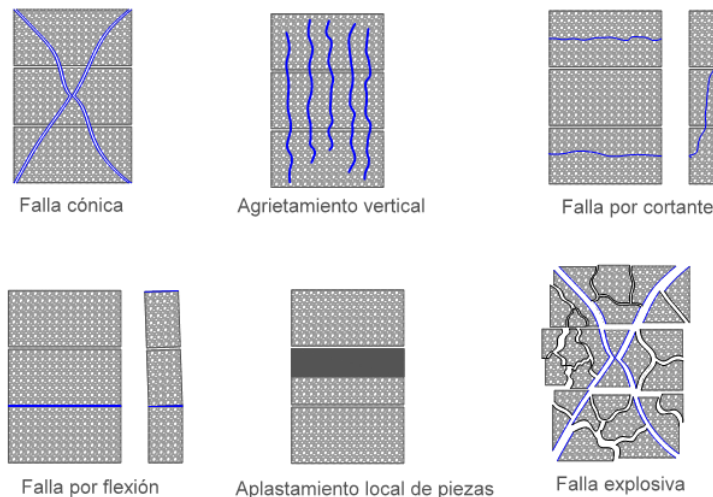


Figura II.10 tipos de fallas presentadas en pilas

II.3.6 Cálculos y resultados

Realizados el número de ensaye requeridos se procede a calcular la resistencia a la compresión media y la de diseño con la expresión siguiente:


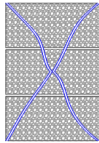
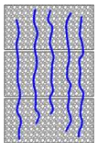
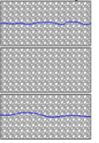
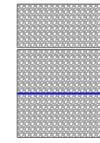


$$f'm = \frac{\overline{fm}}{1 + 2.5 Cm}$$

\overline{fm} → promedio entre los esfuerzos resistentes

Cm → Coeficiente de variación entre los esfuerzos que en ningún caso será menor a 0.10

Cm Se calcula como el cociente de la desviación estándar entre la media de los esfuerzos calculados.

II.3.7 Formato de ensaye

 BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE ESTRUCTURAS												
RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE EN MAMPOSTERÍA f'_m												
OBRA: (1)						EXPEDIENTE No: (6)						
LOCALIZACIÓN: (2)						ENSAYE No: (7)						
EMPRESA: (3)						FECHA DE MUESTREO: (8)						
IDENTIFICACION DE LOTE: (4)						FECHA DE RECIBO: (9)						
TIPO DE PIEZA: (5)						FECHA DE INFORME: (10)						
MORTERO	TIPO: (11)	PROPORCIÓN	MARCA	RESISTENCIA A LA COMPRESION f'_j								
	CEMENTO	(12)	(13)	CUBO	CLAVE	EDAD	AREA	f'_j (kg/cm ²)	\bar{f}'_j			
	CALHIDRA			1	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)			
	AGUA			2								
	ARENA			3								
NP	CLAVE	EDAD (Días)	DIMENSIONES (cm)			ÁREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (Ton)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (KG/CM ²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	TIPO DE FALLA	
1	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	
2												
3												
\bar{f}'_m									(30)	(31)		
TIPOS DE FALLA	     											
FALLA	1	Falla cónica	2	Agrietamiento vertical	3	Falla por cortante	4	Falla por flexión	5	Aplastamiento local de piezas	6	Falla explosiva
OBSERVACIONES: (33)												
CALCULOS Y RESULTADOS: (34)												
$f'_m = \frac{\bar{f}'_m}{1 + 2.5C_m}$												
REFERENCIAS: NMX-C-404-ONNCCE-2012												
LABORATORISTA (35)						RESPONSABLE DE LABORATORIO (36)						
"LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA EN ESTE INFORME CORRESPONDE ESPECIFICAMENTE A LAS PIEZAS Y MORTERO CUYO TIPO Y CARACTERÍSTICAS SE EMPLEARON EN LA FABRICACION DE LAS PROBETAS. EN CASO DE CUALQUIER VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS O DEL PROPORCIONAMIENTO DEL MORTERO, SE DEBE EVALUAR SU EFECTO EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DE LA MAMPOSTERÍA"												

II.3.8 Instructivo de llenado

- (1) Nombre específico de la obra que por su magnitud o importancia es tipo II o requiere el ensaye
- (2) Localización de la obra
- (3) Empresa o dependencia a cargo
- (4) Lote específico al cual se realiza el ensaye
- (5) Tipo de pieza (tabique, tabicón o bloque)
- (6) Número de expediente si es que se cuenta
- (7) Numero de ensaye realizado, cada ensaye consta de tres probetas
- (8) Fecha en que se realizó el muestreo
- (9) Fecha en que se reciben en la laboratorio las probetas
- (10) Fecha en que se entrega el informe de los ensayes
- (11) Tipo de mortero con el que se realizan las probetas (tipo I o II)
- (12) Proporción de cemento, arena y agua utilizada en la fabricación del mortero
- (13) Marca de cemento y cal hidra utilizado
- (14) Clave específica con la que se identifica al cubo de mortero ensayado
- (15) Edad del cubo contada a partir de su elaboración
- (16) Área del cubo ensayado en cm con aproximación al milímetro
- (17) Resistencia a la compresión del mortero en kg/cm^2 calculada como el cociente de la carga máxima entre el área del cubo de mortero
- (18) Resistencia promedio de las resistencias a 28 días
- (19) Clave de la pila con que se identificó al momento de su elaboración, se recomienda que esta clave y la del cubo de mortero estén relacionadas para identificar fácilmente el mortero con el que se construyó la pila
- (20) Edad a la que se realiza el ensayo la cual se recomienda a los 28 días
- (21), (22) y (23) dimensiones de la pila en centímetros
- (24) Área de la pila en la sección normal a la aplicación de la carga en cm^2
- (25) Carga máxima o carga de falla en la pila en kg/cm^2
- (26) Carga máxima o carga de falla en la pila en Mpa
- (27) Resistencia a la compresión en kg/cm^2
- (28) Resistencia a la compresión en Mpa

- (29) Tipo de falla presentada en la pila, para la cual se puede tomar como referencia el apartado "tipo de falla" que se encuentra en la parte inferior
- (30) Resistencia media a la compresión de las pilas en kg/cm^2
- (31) Resistencia media a la compresión de las pilas en Mpa
- (32) En este apartado se selecciona el tipo de falla presentada en la pila
- (33) En observaciones se indica o se hace mención de algún detalle o circunstancia presentada en el ensaye
- (34) Se realiza el cálculo de la resistencia de diseño a compresión de la mampostería y se expresa en kg/cm^2 y Mpa
- (35) Y (36) firmas del personal responsable del ensaye

II.4 Obtención del Módulo de Elasticidad de la Mampostería

II.4.1 Antecedentes

El módulo de elasticidad es la razón que existe entre el esfuerzo que soporta un material y la deformación unitaria que este presenta, este parámetro fue investigado y definido por vez primera por Robert Hooke en el siglo XVII, indicando que la deformación de los materiales es directamente proporcional a la fuerza que está interactuando sobre ellos:

$$F = k\delta$$

$F \rightarrow$ fuerza que se le aplica al elemento

$k \rightarrow$ constante elástica de deformación

$\delta \rightarrow$ Deformación del elemento probado

El módulo de elasticidad se entiende como la capacidad de un elemento estructural de soportar esfuerzos y sufrir pequeñas deformaciones, en la mampostería es de gran interés conocer este parámetro para realizar el diseño de estructuras conociendo el comportamiento ante los esfuerzos que se produzcan ante cargas verticales u horizontales.

II.4.2 Objetivo

Obtener mediante ensaye a compresión simple el valor del módulo de elasticidad en la mampostería E_m .

II.4.3 Especificaciones

Para realizar este ensaye se construirán mínimo nueve pilas provenientes de tres lotes diferentes, cuidando que las pilas a construirse sean con piezas del mismo lote las piezas entonces pueden seleccionarse de manera aleatoria.

Las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería proponen las ecuaciones siguientes para el cálculo del módulo de elasticidad con base en la resistencia a la compresión de la mampostería f'_m :

a) Para mampostería de tabiques y bloques de concreto:

$E_m = 800 f'_m \Rightarrow$ para cargas de corta duración, caso de pruebas de laboratorio.

$E_m = 350 f'_m \Rightarrow$ para cargas sostenidas, estudio local de estructuras de mampostería.

b) Para mampostería de tabique de barro y otras piezas, excepto las de concreto:

$E_m = 600 f'_m \Rightarrow$ para cargas de corta duración

$E_m = 350 f'_m \Rightarrow$ para cargas sostenidas

Para determinar el módulo de elasticidad de la mampostería, al espécimen a ensayar se le aplicará el 50% de la carga máxima a compresión estimada en el ensaye a compresión simple.

II.4.4 Equipo y material a utilizar

Material	Equipo
<ul style="list-style-type: none"> • Pila de mampostería de tabique, tabicón o bloque 	<ul style="list-style-type: none"> • Cabezal con asiento semiesférico • Placa de distribución de carga • Celda de carga • Marco de reacción • Dispositivos para medición de deformación con precisión de 1×10^{-6} m
Equipo de seguridad/ protección personal	Equipo de seguridad adicional
<ul style="list-style-type: none"> • Botas de seguridad • Bata • Guantes • Casco • Faja 	<ul style="list-style-type: none"> • Cubre boca

II.4.5 Procedimiento de Ensaye

La fabricación de las pilas se explicó en el ensaye para la obtención de la resistencia a la compresión simple f'_m , por lo que en el presente procedimiento se explica solo el proceso para la obtención del módulo de elasticidad de la mampostería E_m .

Antes del ensaye las probetas se medirán con aproximación al milímetro, se tomarán tres mediciones por lado y se calculará el promedio.

Cabeceo

El cabeceo se puede realizar con azufre u otro material en un espesor no mayor a 5mm y con una resistencia mayor a la de la mampostería, la superficie cabeceada debe ser plana con una tolerancia de ± 0.05 en una longitud de 150mm en dos direcciones ortogonales.

Velocidad de carga

La norma aplicable indica que la carga aplicada debe tener una velocidad que ronde entre 15 kg/cm²-min y 30 kg/cm²-min, es decir, que sea de acuerdo al área de cada espécimen.

Máquina de ensaye

Esta debe tener la capacidad de aplicar la carga que produzca la falla en los especímenes, aplicar la carga con la velocidad calculada según las dimensiones y dentro del intervalo aprobado, debe tener dispositivos o caratulas que permitan una aproximación de 2.5% de la carga máxima y una graduación progresiva al menos del 10% de su capacidad.

La máquina de ensaye debe estar provista de dos bloques solidos de acero uno con asiento esférico de diámetro no mayor a 250mm, el centro de la esfera debe coincidir con el centro de la cara de la superficie de apoyo, el diámetro de la esfera debe ser de cuando menos 100mm, en la parte inferior del bloque con asiento

esférico se colocará una placa de distribución de carga. El bloque de apoyo en la parte inferior debe tener un espesor de cuando menos 22.5mm.

Las placas de distribución de carga, deben tener un espesor igual a la tercera parte de la orilla del bloque de carga a la esquina más distante de la probeta y de un espesor mínimo de 25.4mm

Colocación de las probetas

Las probetas a ensayar no deben presentar fisuras, despostillamientos o haber sido sometidas a impactos. Estas se limpian en su superficie al igual que las placas de distribución, se verificará que la probeta al ser colocada este alineada verticalmente con las placas superior e inferior y el eje del bloque superior de asiento esférico.

Instrumentos de medición

Para determinar los desplazamientos se utilizarán dos transductores de desplazamiento, estos se instrumentarán de forma paralela a la carga en las dos caras más propensas a deformarse, deben tener una precisión de mínima de 0.001mm. Los transductores deben ser sujetos a un marco metálico lo suficientemente rígido, el cual se sujeta firmemente a la pila, la longitud instrumentada debe ser un $65\% \pm 5\%$ de la longitud total del espécimen.

El valor que será utilizado para el cálculo del módulo de elasticidad tiene que ser el promedio aritmético obtenido en la prueba de los dos transductores, las figuras II.11 y II.12 ilustran la sujeción del marco metálico a la pila y la colocación de los transductores.



Figura II.11 Probeta instrumentada



Figura II.12 Colocación de transductor

Aplicación de la carga

La carga se debe aplicar con la velocidad indicada anteriormente hasta el 50% de la carga máxima a compresión, antes de realizar el ensaye definitivo la norma indica que se realicen tres pruebas de carga y descarga hasta el 15% de la carga máxima con la intención de revisar el ajuste entre la pila y los dispositivos que suministren la carga, así como para calibrar los dispositivos de medición ya que al realizar esos ciclos de carga y descarga las mediciones que arrojen deben ser las mismas. Realizado lo anterior se puede realizar el ensaye definitivo.

Para obtener el módulo de elasticidad se deben tomar un mínimo de 10 lecturas entre la carga inicial y el 50% de la carga máxima estimada de tal forma que mediante estas lecturas de carga y desplazamiento, se pueda definir, mediante interpolación o gráficamente, el esfuerzo normal axial correspondiente a una deformación unitaria de 0.00005, así como la deformación unitaria correspondiente al 40% del esfuerzo normal máximo.

Los intervalos de carga o pasos se deberán anotar en el formato correspondiente, se calculan al dividir el 50% de la carga máxima entre el número de intervalos (mínimo 10)


II.4.6 Cálculos y resultados

Con los datos registrados en el formato correspondiente se procede a calcular el módulo de elasticidad. Interpolando se obtiene el valor de σ_1 que corresponde a una deformación unitaria de 0.00005 y σ_2 con una deformación ϵ_2 que corresponde al 40% de la carga máxima que resiste la mampostería a compresión simple.

Los datos se sustituyen en la ecuación

$$E_m = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - 0.00005}$$

II.4.7 Formato de ensaye

 BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE ESTRUCTURAS										
MÓDULO DE ELÁSTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA E_m										
OBRA: (1)					EXPEDIENTE No: (6)					
LOCALIZACIÓN: (2)					ENSAYE No: (7)					
EMPRESA: (3)					FECHA DE MUESTREO: (8)					
IDENTIFICACION DE LOTE: (4)					FECHA DE RECIBIDO: (9)					
TIPO DE PIEZA: (5)					FECHA DE INFORME: (10)					
MORTERO	TIPO: (11)		PROPORCIÓN	MARCA	RESISTENCIA A LA COMPRESION f'_j					
	CEMENTO		(12)	(13)	CUBO	CLAVE	EDAD	AREA	f'_j (kg/cm ²)	\bar{f}_j (18)
	CALHIDRA				1	(14)	(15)	(16)	(17)	
	AGUA				2					
	ARENA				3					
PILA	CLAVE	EDAD (Días)	DIMENSIONES (cm)			ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA MÁXIMA A LA COMPRESIÓN			
			ANCHO	LARGO (Lo)	ESPESOR		fm=	(25)	kg/cm ²	(27)
	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	50% fm=	(26)	kg/cm ²	(28)
PASO	CARGA (Kg)	CARGA (KN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	δ_{PROM} (mm)	$\epsilon = \frac{\delta_{PROM}}{Lo}$	σ kg/cm ²	σ Mpa		
1	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)	(36)		
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
CÁLCULO DE E_m CON LA EXPRESION:										
$E_m = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - 0.00005} = \quad (37) \quad \text{kg/cm}^2$										
OBSERVACIONES: (38)										
REFERENCIAS: NMX-C-464-ONNCE-2010										
LABORATORISTA (39)					RESPONSABLE DE LABORATORIO (40)					
<p>"EL MÓDULO ELÁSTICO DE LA MAMPOSTERÍA EN ESTE INFORME CORRESPONDE ESPECIFICAMENTE A LAS PIEZAS Y MORTERO CUYO TIPO Y CARACTERÍSTICAS SE EMPLEARON EN LA FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS. EN CASO DE CUALQUIER VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS O DEL PROPORCIONAMIENTO DEL MORTERO, SE DEBE EVALUAR SU EFECTO EN EL MÓDULO DE ELÁSTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA"</p>										

II.4.8 Instructivo de llenado

- (1) Nombre específico de la obra que por su magnitud o importancia es tipo II o requiere el ensaye
- (2) Localización de la obra
- (3) Empresa o dependencia a cargo
- (4) Lote específico al cual se realiza el ensaye
- (5) Tipo de pieza (tabique, tabicón o bloque)
- (6) Número de expediente si es que se cuenta
- (7) Numero de ensaye realizado, cada ensaye consta de tres probetas
- (8) Fecha en que se realizó el muestreo
- (9) Fecha en que se reciben en laboratorio las probetas
- (10) Fecha en que se entrega el informe de los ensayes
- (11) Tipo de mortero con el que se realizan las probetas (tipo I o II)
- (12) Proporción en peso o volumen de cemento, arena y agua utilizada en la fabricación del mortero
- (13) Marca de cemento y cal hidra utilizado
- (14) Clave específica con la que se identifica al cubo de mortero ensayado
- (15) Edad del cubo contada a partir de su elaboración
- (16) Área del cubo ensayado en cm^2 con aproximación al milímetro
- (17) Resistencia a la compresión del mortero en kg/cm^2 calculada como el cociente de la carga máxima entre el área del cubo de mortero
- (18) Resistencia promedio de las resistencias a 28 días
- (19) Clave de la pila con que se identificó al momento de su elaboración, se recomienda que esta clave y la del cubo de mortero estén relacionadas para identificar fácilmente el mortero con el que se construyó la pila
- (20) Edad a la que se realiza el ensayo la cual se recomienda a los 28 días
- (21), (22) y (23) dimensiones de la pila en centímetros
- (24) Área de la pila en la sección normal a la aplicación de la carga en cm^2
- (25) Resistencia a la compresión de las pilas en kg/cm^2
- (26) 50% de la resistencia a la compresión en la pila en kg/cm^2
- (27) Resistencia a la compresión de las pilas en Mpa

- (28) 50% de la resistencia a la compresión en la pila en Mpa
- (29) Carga aplicada en ese intervalo, que resulta de dividir el 50% de la carga máxima entre el número de pasos, el incremento de carga es constante y acumulativo, expresada en kg
- (30) Carga en el intervalo igual al paso anterior pero expresada en KN
- (31) Lectura de deformación en el transductor uno expresada con una aproximación de 0.001mm
- (32) Lectura de deformación en el transductor dos expresada con una aproximación de 0.001mm
- (33) Promedio de las deformaciones registradas en el transductor uno y dos
- (34) Deformación unitaria, resultado del cociente de la deformación promedio entre la longitud instrumentada que se indicó en el apartado 22
- (35) Esfuerzo normal a compresión en kg/cm^2 , resultado del cociente de la carga en kg en el apartado 29 entre el área de la sección transversal de la pila del apartado 24
- (36) Esfuerzo normal a compresión expresado en Mpa
- (37) Módulo de elasticidad de la mampostería, en dicha expresión el valor de σ_1 se obtiene interpolando, corresponde a una deformación unitaria de 0.00005 y σ_2 se calcula con una deformación ϵ_2 que corresponde al 40% de la carga máxima que resiste la mampostería a compresión simple, en kg/cm^2 y Mpa.
- (38) Apartado de observaciones del ensaye
- (39) y (40) firmas del personal del laboratorio.

II.5 Obtención de la Resistencia a la Compresión Diagonal $V'm$

II.5.1 Antecedentes

La resistencia a la compresión diagonal $V'm$ en mampostería es un parámetro muy importante de diseño, ya que permite evaluar su comportamiento ante el cortante, con dicho valor se puede realizar el análisis sísmico y optar por opciones de refuerzo (enmallado y refuerzo horizontal) que incrementen su capacidad y mejoren su comportamiento ante este tipo de solicitaciones.

El ensaye consiste en aplicar carga en forma diagonal a un murete cuadrado hasta llegar a la falla, se debe revisar esta para aceptar el resultado. Las fallas pueden ser por tensión diagonal (las grietas atraviesan piezas y juntas), por cortante, cuando la grieta sigue únicamente las juntas o bien por una combinación de ambas. Se rechaza o anula el ensaye cuando se produce el aplastamiento de una de las esquinas cargadas. La figura II.13 muestra este ensaye en el marco de reacción.



Figura II.13 Ensaye a compresión diagonal en mampostería de tabique rojo recocido.

La norma NMX-C-464-ONNCCE-2010 indica el proceso para la obtención de la resistencia a la compresión diagonal en muretes de mampostería.

II.5.2 Objetivo

Obtener con un ensaye a compresión diagonal el valor $V'm$ en la mampostería.

II.5.3 Especificaciones

La norma señala que este ensaye se realice en muretes cuadrados construidos con una longitud mínima de una y media piezas y se ensayaran a la edad de 28 días.

Se cuidará que la técnica de construcción de los muretes sea la misma.

Se requieren mínimo tres muretes para obtener la resistencia promedio y posteriormente la resistencia de diseño. Cada probeta deberá ser construida con piezas tomadas de manera aleatoria pero que pertenezcan al mismo lote.

Para el control de calidad en obra la norma indica que se construirán tres muretes por cada 3000 m² de muro o fracción y por cada planta, se excluyen las edificaciones tipo I es decir aquellas que no son tipo A, que tienen una superficie construida menor a 250 m², que no tienen más de dos niveles y cuyo destino es la vivienda unifamiliar, plurifamiliar, infraestructura agrícola, pecuaria o forestal. Los muretes se fabricaran en obra con las piezas y proporciones de mortero que se estén utilizando.

II.5.4 Equipo y material a utilizar

Equipo	Material
<ul style="list-style-type: none">• Cabezales para prueba de murete• Cabezal con asiento esférico• Máquina de ensayo• Placas de distribución de carga• Máquina de corte	<ul style="list-style-type: none">• Piezas de tabique, tabicón o bloque• Mortero (dosificación conocida)• Agua• Cuchara de albañil• Charola• Junteador• Nivel• plomo

Equipo de seguridad / protección personal	Equipo de seguridad adicional
<ul style="list-style-type: none"> • Guantes • Casco 	<ul style="list-style-type: none"> • Botas de seguridad • Bata • Cubre boca

II.5.5 Procedimiento de Ensaye

Para el ensaye se debe tener una proporción de mortero que garantice una resistencia igual o superior a la de los morteros tipo I y II (125 kg/cm^2 y 75 kg/cm^2 respectivamente)

Fabricación de los muretes

Para la elaboración de los muretes se revisará que las piezas utilizadas no presentes fisuras, despostillamientos y que las caras sean uniformes. Las juntas serán de un espesor de 1.2cm para piezas de fabricación mecánica y 1.5cm para piezas artesanales como máximo y 6mm como mínimo en ambos casos. Para la elaboración de los especímenes se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- El corte de las piezas debe ser preciso por lo que se hace con la maquinaria y equipo de protección adecuado, con el cuidado de no maltratar la pieza, como lo muestra la figura II.14



Figura II.14 corte de pieza con equipo y protección adecuado

- Las piezas tendrán que humedecerse antes de colocar mortero sobre ellas, de esta forma la pieza no absorberá el agua del mortero haciendo que este baje su resistencia,
- El calor de hidratación del mortero es de forma rápida, por lo cual se recomienda no dejar pasar más de 45 min para su uso,
- Después de ser elaborados los especímenes no se podrán mover dentro de un periodo mínimo de siete días después de haberse fabricado. En el caso de que sean fabricados en obra el traslado será después de ese lapso,
- Los muretes deben marcarse de forma que se identifique el lote, mortero y fecha,

Almacenamiento

Después de construirse los muretes deben almacenarse en el lugar de fabricación durante 28 días (en su caso almacenarse en obra y trasladarse después de siete días), el cual debe tener una temperatura de $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$

La figura muestra II.15 el almacenamiento de los especímenes



Figura II.15 Almacenamiento de muretes

Ensaye

Cumplido el tiempo indicado las probetas serán medidas con aproximación al milímetro, tomando tres lecturas por lado, espesor y diagonal, obteniendo promedio y registrando los datos en el formato correspondiente.

Máquina de ensaye

Esta debe tener la capacidad de aplicar la carga que produzca la falla en los especímenes, aplicar la carga con la velocidad calculada según las dimensiones y dentro del intervalo aprobado, debe tener dispositivos o caratulas que permitan una aproximación de 2.5% de la carga máxima y una graduación progresiva al menos del 10% de su capacidad.

Cabezales de distribución de carga

En la compresión diagonal se utilizan cabezales para la distribución de la carga a las probetas, estos deben tener una longitud igual a la sexta parte de la longitud del largo o alto (debido a que deben ser aproximadamente iguales) del espécimen y el espesor no deberá ser menor a 9 mm. Si la longitud de estos cabezales no cumple con este requisito entonces se colocarán ángulos metálicos entre el cabezal y el murete de espesor no menor a 9mm. La figura II.16 siguiente ilustra los cabezales.

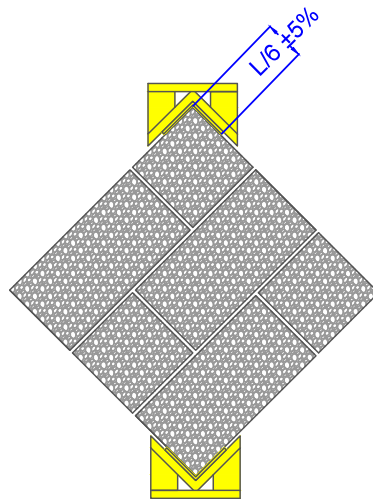


Figura II.16 Cabezales sobre murete.

En la figura II.7 se muestra un murete y cabezal cuyas dimensiones no cumplen con la condición $L/6$ y por lo tanto se utiliza un ángulo de $\frac{1}{2}$ " de espesor (espesor mayor a 9mm)



Figura II.16 Uso de angulos entre especimen y cabezal.

Cabeceo

El cabeceo de las piezas debe hacerse en una superficie plana con una tolerancia de ± 0.05 en una longitud de 150mm, el cabeceo puede ser de azufre, mortero o yeso, en ambos casos el espesor no debe ser mayor a 5mm y el mortero debe tener una resistencia mínima de 350 kg/cm^2 si es necesario el murete se debe lijar para asegurar una distribución uniforme de la carga, se puede colocar también neopreno entre los cabezales o ángulos que tenga un espesor no mayor a 3mm.

Velocidad de aplicación de la carga

La aplicación de la carga tiene que ser de forma gradual sin producir impacto ni pérdida de carga, para aceptar sus resultados y debe estar en el intervalo de $1.0 \text{ kg/cm}^2\text{-min}$ a $2.0 \text{ kg/cm}^2\text{-min}$.

Colocación de la probeta

Las probetas a ensayar no deben presentar fisuras, despostillamientos o haber sido sometidas a impactos. Estas se limpian en su superficie al igual que las placas de distribución, se verificará que la probeta al ser colocada este alineada verticalmente con el bloque superior de asiento esférico y los cabezales de distribución o ángulos si se requirieron, revisando el aplomo a detalle.

Aplicación de carga

Se aplica la carga con la velocidad indicada en la norma llevando a la falla a los especímenes, se toma nota de su magnitud y el tipo de falla, registrando los datos en el formato correspondiente. En la figura II.17 se muestran los tipos de falla en muretes.

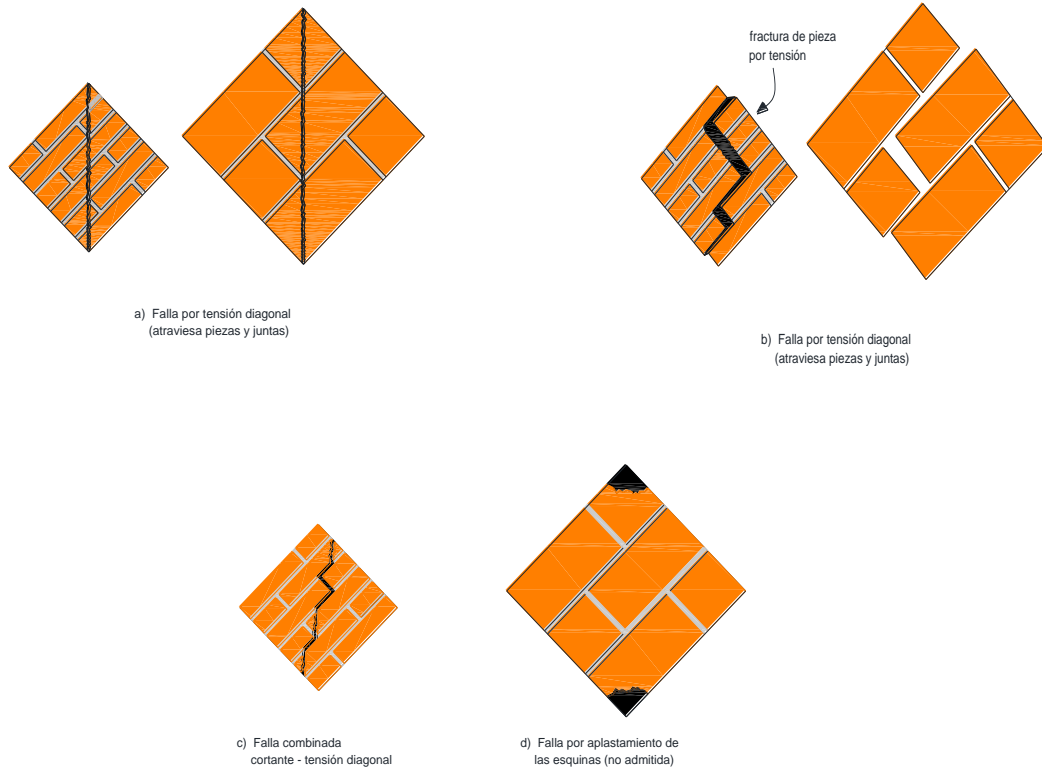


Figura II.17 Tipos de falla en muretes en compresión diagonal

II.5.6 Cálculos y resultados

La resistencia a la compresión diagonal se calcula con la expresión:

$$V'm = \frac{\bar{V}_m}{1 + 2.5C_v}$$

\bar{V}_m → Media de la resistencia a compresión diagonal de los muretes

C_v → Coeficiente de variación de los esfuerzos resistentes de los muretes; calculado como el cociente de la desviación estándar entre la media que en ningún caso será menor que 0.20

La figura II.18 muestra el marco de reacción para realizar el ensaye del laboratorio de estructuras de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

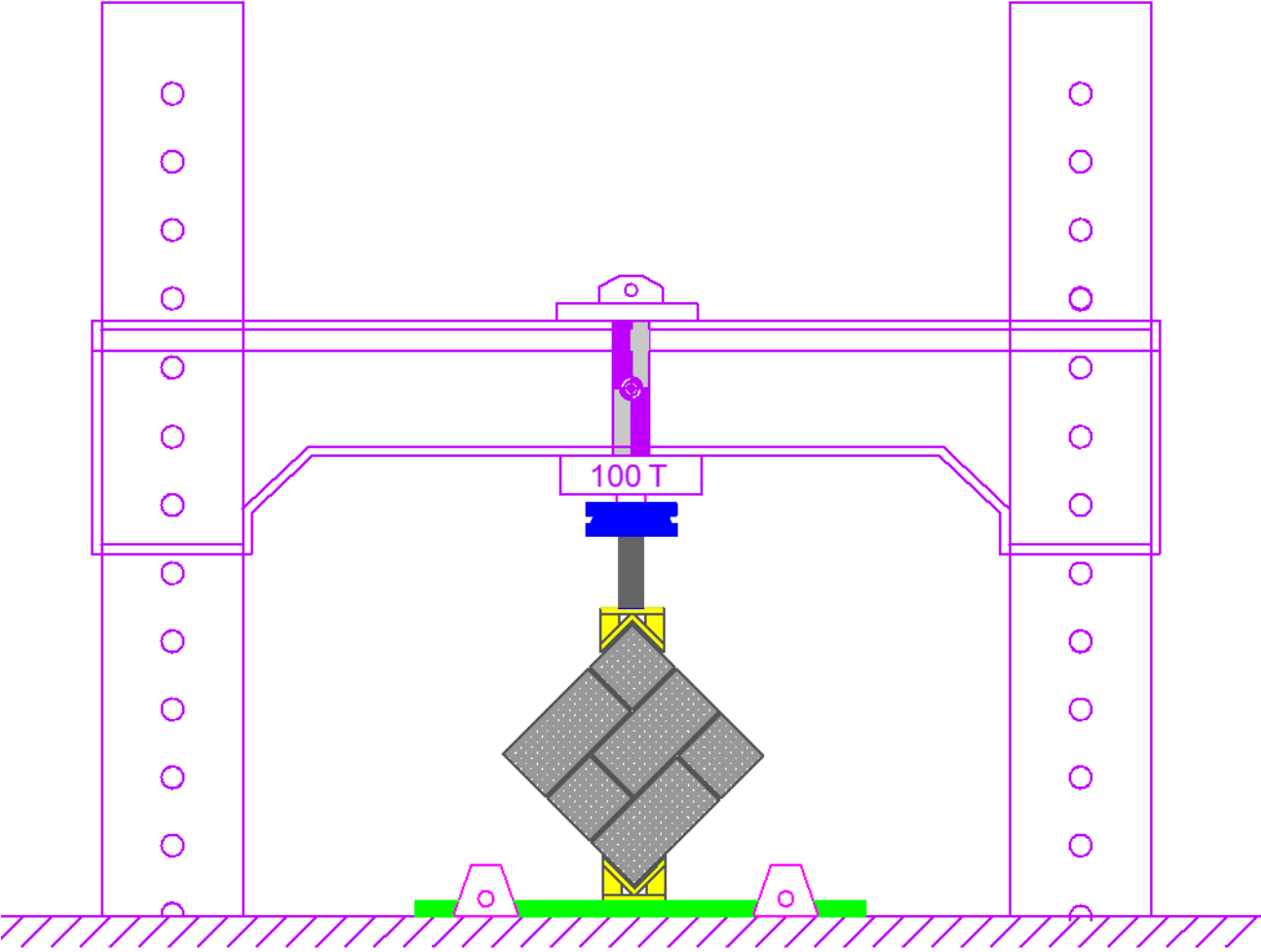

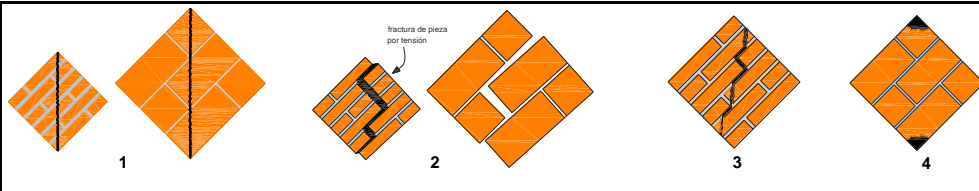


Figura II.18 Ensaye a compresión diagonal en el marco de reacción.

II.5.7 Formato de ensayos

 BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE ESTRUCTURAS										
RESISTENCIA A LA COMPRESION DIAGONAL EN MAMPOSTERÍA V'm										
OBRA:			(1)			EXPEDIENTE No:			(6)	
LOCALIZACIÓN:			(2)			ENSAYE No:			(7)	
EMPRESA:			(3)			FECHA DE MUESTREO:			(8)	
IDENTIFICACION DE LOTE:			(4)			FECHA DE RECIBIDO:			(9)	
TIPO DE PIEZA:			(5)			FECHA DE INFORME:			(10)	
MORTERO	TIPO: (11)	PROPORCIÓN	MARCA	RESISTENCIA A LA COMPRESION f'j						
	CEMENTO	(12)	(13)	CUBO	CLAVE	EDAD	AREA	f'j (kg/cm ²)	f _j	
	CALHIDRA			1	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	
	AGUA			2						
ARENA			3							
NP	CLAVE	EDAD (Días)	DIMENSIONES (cm)		ÁREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	CARGA MÁXIMA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAGONAL (KG/CM ²)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAGONAL (M Pa)	TIPO DE FALLA
1	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)
2										
3										
V _m =								(29)	(30)	
TIPOS DE FALLA (31)										
Cálculo de V'm										
$V'm = \frac{\overline{V}_m}{1 + 2.5 C_v} = \quad \text{kg/cm}^2 \quad (32)$										
Observaciones: (33)										
REFERENCIAS: NMX-C-404-ONNCE-2012										
LABORATORISTA (34)						RESPONSABLE DE LABORATORIO (35)				
<p>"LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAGONAL DE LA MAMPOSTERÍA EN ESTE INFORME CORRESPONDE ESPECIFICAMENTE A LAS PIEZAS Y MORTERO CUYO TIPO Y CARACTERÍSTICAS SE EMPLEARON EN LA FABRICACION DE LAS PROBETAS. EN CASO DE CUALQUIER VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS O DEL PROPORCIONAMIENTO DEL MORTERO, SE DEBE EVALUAR SU EFECTO EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DIAGONAL DE LA MAMPOSTERÍA"</p>										

II.5.8 Instrucciones de llenado

- (1) Nombre específico de la obra que por su magnitud o importancia es tipo II o requiere el ensaye
- (2) Localización de la obra
- (3) Empresa o dependencia a cargo
- (4) Lote específico al cual se realiza el ensaye
- (5) Tipo de pieza (tabique, tabicón o bloque)
- (6) Número de expediente si es que se cuenta
- (7) Numero de ensaye realizado, cada ensaye consta de tres probetas
- (8) Fecha en que se realizó el muestreo
- (9) Fecha en que se reciben en laboratorio las probetas
- (10) Fecha en que se entrega el informe de los ensayos
- (11) Tipo de mortero con el que se realizan las probetas (tipo I o II)
- (12) Proporción en peso o volumen de cemento, arena y agua utilizada en la fabricación del mortero
- (13) Marca de cemento y cal hidra utilizado
- (14) Clave específica con la que se identifica al cubo de mortero ensayado
- (15) Edad del cubo contada a partir de su elaboración
- (16) Área del cubo ensayado en cm^2 con aproximación al milímetro
- (17) Resistencia a la compresión del mortero en kg/cm^2 calculada como el cociente de la carga máxima entre el área del cubo.
- (18) Resistencia promedio de las resistencias a 28 días
- (19) Clave del muro con que se identificó al momento de su elaboración, se recomienda que esta clave y la del cubo de mortero estén relacionadas para identificar fácilmente el mortero con el que se construyó el murete
- (20) Edad a la que se realiza el ensayo la cual se recomienda a los 28 días
- (21)(22) Dimensiones de la pila en centímetros con aproximación al milímetro.
- (23) Área de la pila en la sección normal a la aplicación de la carga en cm^2
- (24) Carga máxima o carga de falla en el murete en kg
- (25) Carga máxima o carga de falla en la KN
- (26) Resistencia a la compresión diagonal en kg/cm^2

- (27) Resistencia a la compresión diagonal en Mpa
- (28) Tipo de falla en el murete
- (29) Resistencia media a la compresión diagonal en kg/cm^2
- (30) Resistencia media a la compresión diagonal en Mpa
- (31) Tipos de falla en muretes, se debe seleccionar la observada en cada uno de los muretes
- (32) Calculo de la resistencia a la compresión diagonal
- (33) Apartado de observaciones del ensaye, que se consideren importantes indicar.
- (34) y (35) firmas del personal del laboratorio.

II.6 Obtención del Módulo de Cortante G_m

II.6.1 Antecedentes

Ante fuerzas sísmicas es necesario conocer el módulo de cortante de la mampostería, esto permite saber de sus capacidades ante este evento, su magnitud indica la rigidez de la estructura ante cargas actuando en forma diagonal.

Esta propiedad junto con el módulo de elasticidad definen el comportamiento de la estructura a base de mampostería y se indican en los programas de análisis estructural.

II.6.2 Objetivo

Determinar el módulo de cortante con base en el ensaye a compresión diagonal en muretes de mampostería.

II.6.3 Especificaciones

Las normas técnicas complementarias señalan que el módulo de cortante se puede obtener a partir del módulo de elasticidad tomándose como:

$$G_m = 0.2 * E_m$$

Para la determinación del módulo de cortante se deben ensayar un mínimo de tres muretes los cuales deben ser de tres lotes diferentes, se construirán con el mismo mortero y con la misma técnica

Para el control de calidad en obra la norma indica que se construirán tres muretes por cada 3000 m² de muro o fracción y por cada planta, se excluyen las edificaciones tipo I es decir aquellas que no son tipo A, que tienen una superficie construida menor a 250 m², que no tienen más de dos niveles y cuyo destino es la vivienda unifamiliar, plurifamiliar, infraestructura agrícola, pecuaria o forestal.

II.6.4 Equipo y material a utilizar

Equipo	Material
<ul style="list-style-type: none">• Cabezales para prueba de murete• Cabezal con asiento esférico• Máquina de ensayo• Ángulos de distribución de carga (función de las dimensiones del muro)• Máquina de corte	<ul style="list-style-type: none">• Muretes cuadrados de mampostería
Equipo de seguridad / protección personal	Equipo de seguridad adicional
<ul style="list-style-type: none">• Guantes• Casco	<ul style="list-style-type: none">• Botas de seguridad• Bata

II.6.5 Procedimiento de Ensayo

Después de transcurrir los 28 días se procede a realizar el ensayo, primero se miden las probetas registrando el espesor y la longitud de la diagonal para calcular el área sometida a compresión.

Máquina de ensaye

Esta debe tener la capacidad de aplicar la carga que produzca la falla en los especímenes, aplicar la carga con la velocidad calculada según las dimensiones y dentro del intervalo aprobado, debe tener dispositivos o caratulas que permitan una aproximación de 2.5% de la carga máxima y una graduación progresiva al menos del 10% de su capacidad.

Cabezales de distribución de carga

En la compresión diagonal se utilizan cabezales para la distribución de la carga a las probetas, estos deben una longitud igual a la sexta parte de la longitud del largo o alto (debido a que deben ser aproximadamente iguales) del espécimen y el espesor no deberá ser menor a 9 mm. Si la longitud de estos cabezales no cumple con este requisito entonces se colocarán ángulos metálicos entre el cabezal y el murete de espesor no menor a 9mm. En la figura II.19 se observa un ángulo para distribución de carga, este se coloca entre cabezal y probeta.



Figura II.19 ángulo de distribución de carga

Cabeceo

El cabeceo de las piezas debe hacerse en una superficie plana con una tolerancia de ± 0.05 en una longitud de 150mm, el cabeceo puede ser de azufre, mortero o yeso, en ambos casos el espesor no debe ser mayor a 5mm y el mortero debe tener una resistencia mínima de 350 kg/cm^2 si es necesario el murete se debe lijar para asegurar una distribución uniforme de la carga, se puede colocar también neopreno entre los cabezales o ángulos que tenga un espesor no mayor a 3mm.

Colocación de la probeta

Las probetas a ensayar no deben presentar fisuras, despostillamientos o haber sido sometidas a impactos. Se debe considerar:

- Se deben limpiar las superficies de contacto y lijar si es necesario
- La probeta tiene que estar centrada en dirección de la carga.

- Se debe revisar la verticalidad del murete, deben coincidir el eje de aplicación de carga con el eje de la probeta perfectamente.

Velocidad de aplicación de la carga

La aplicación de la carga tiene que ser de forma gradual sin producir impacto ni pérdida de carga, para aceptar sus resultados y debe estar en el intervalo de 1.0 kg/cm²-min a 2.0 kg/cm²-min.

Instrumentación

Para determinar los desplazamientos se utilizarán cuatro transductores de desplazamiento, dos se colocarán de forma paralela a la carga en las dos caras más propensas a deformarse y dos perpendiculares a la dirección de la carga, de forma que por cada cara del murete se tengan dos transductores uno que mida el acortamiento (L_c) y otro el alargamiento (L_t) estas longitudes deben medirse y registrarse al inicio de la prueba, la figura II.19 muestra la colocación de los instrumentos y las longitudes L_c y L_t .

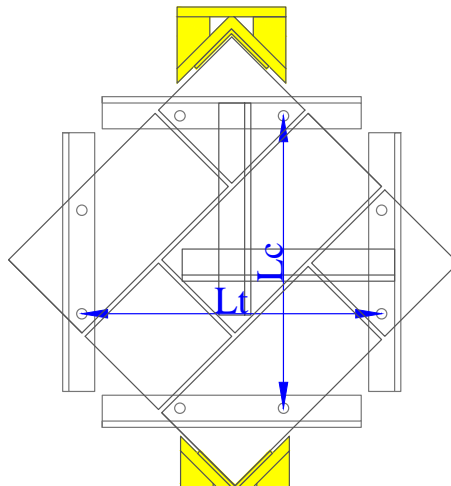


Figura II.19 longitudes de deformación.

Los instrumentos de medición tener una precisión de mínima de 0.001mm. Los transductores deben ser sujetos a un marco metálico lo suficientemente rígido, como se muestra en la figura II.20.



Figura II.20 Fijación de transductores al marco rígido

La longitud instrumentada debe ser un $65\% \pm 5\%$ de la longitud total del espécimen en ambos sentidos. El valor que será utilizado para el cálculo del módulo de elasticidad tiene que ser el promedio aritmético obtenido en la prueba de los dos transductores por cada sentido.

Aplicación de la carga

La carga se debe aplicar con la velocidad indicada anteriormente hasta el 50% de la carga máxima a compresión (obtenida con anterioridad), antes de realizar el ensaye definitivo la norma indica que se realicen tres pruebas de carga y descarga hasta el 15% de la carga máxima con la intención de revisar el ajuste entre el murete y los elementos que suministran la carga, así como para calibrar los dispositivos de medición ya que al realizar esos ciclos de carga y descarga las mediciones que arrojen deben ser las mismas en cada ciclo. Realizado lo anterior se puede realizar el ensaye definitivo.

Los intervalos de carga o pasos se deberán anotar en el formato correspondiente y se calculan al dividir el 50% de la carga máxima entre el número de intervalos (mínimo 10)

II.6.6 Cálculos y resultados

El módulo de cortante se calcula con la siguiente expresión:

$$G_m = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\gamma_2 - 0.00005}$$

Donde:

τ_n = *esfuerzo cortante*

γ_n = *deformación angular producida por el esfuerzo τ_n*

para el cálculo de

$$\gamma_n = |\varepsilon_c| + |\varepsilon_t| \quad \varepsilon_c = \frac{\delta_c}{l_{0c}} \quad y \quad \varepsilon_t = \frac{\delta_t}{l_{0t}}$$

ε_c = *deformación unitaria de la diagonal a compresión*

ε_t = *deformación unitaria de la diagonal en tensión*


δ_c = *Acortamiento medido sobre la longitud instrumentada de la diagonal a compresión*

δ_t = *Alargamiento medido sobre la longitud instrumentada de la diagonal a tensión*

l_0 = *longitud instrumentada*

Se realizan como mínimo 10 lecturas entre la carga inicial y el 50% de la carga máxima a compresión diagonal, de forma que entre las lecturas de alargamiento y acortamiento se obtenga de manera gráfica o por interpolación el esfuerzo cortante (τ_1) correspondiente a una deformación angular de 0.00005 y la deformación angular correspondiente al 40% del esfuerzo cortante máximo (τ_2).

II.6.7 Formato de ensayos

 BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE ESTRUCTURAS									
MÓDULO DE CORTANTE EN LA MAMPOSTERÍA G_m									
OBRA: (1)					EXPEDIENTE No: (6)				
LOCALIZACIÓN: (2)					ENSAYE No: (7)				
EMPRESA: (3)					FECHA DE MUESTREO: (8)				
IDENTIFICACION DE LOTE: (4)					FECHA DE RECIBIDO: (9)				
TIPO DE PIEZA: (5)					FECHA DE INFORME: (10)				

MORTERO	TIPO: (11)	PROPORCIÓN	MARCA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f _j					
	CEMENTO	(12)	(13)	CUBO	CLAVE	EDAD	AREA	f _j (kg/cm ²)	f _j
	CALHIDRA			1	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
	AGUA			2					
	ARENA			3					

MURETE	EDAD	DIMENSIONES (cm)				ÁREA	RESISTENCIA MÁXIMA A COMPRESIÓN DIAGONAL				
CLAVE	(Días)	Lot	Loc	Lc	ESPESOR (t)	(cm ²)	V _m =	(26)	kg/cm ²	(27)	Mpa
(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	40% V _m =	(28)	kg/cm ²	(29)	Mpa

PASO	CARGA (Kg)	δ _{t1} (mm)	δ _{t2} (mm)	$\epsilon_t = \frac{\delta_{t1} + \delta_{t2}}{Lot}$	δ _{c1} (mm)	δ _{c2} (mm)	$\epsilon_c = \frac{\delta_{c1} + \delta_{c2}}{Loc}$	τ kg/cm ²	τ Mpa
	(30)	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)	(36)	(37)	(38)
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

CÁLCULO DE G_m CON LA EXPRESIÓN:

$$G_m = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\gamma_2 - 0.00005} = \quad (39) \quad \text{kg/cm}^2$$

OBSERVACIONES: (40)

REFERENCIAS: NMX-C-464-ONNCE-2010

LABORATORISTA (41)	RESPONSABLE DE LABORATORIO (42)
-----------------------	------------------------------------

"EL MÓDULO DE CORTANTE DE LA MAMPOSTERÍA EN ESTE INFORME CORRESPONDE ESPECÍFICAMENTE A LAS PIEZAS Y MORTERO CUYO TIPO Y CARACTERÍSTICAS SE EMPLEARON EN LA FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS. EN CASO DE CUALQUIER VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS O DEL PROPORCIONAMIENTO DEL MORTERO, SE DEBE EVALUAR SU EFECTO EN EL MÓDULO DE CORTANTE DE LA MAMPOSTERÍA"

II.6.8 Instrucciones de llenado

- (1) Nombre específico de la obra que por su magnitud o importancia es tipo II o requiere el ensaye
- (2) Localización de la obra
- (3) Empresa o dependencia a cargo
- (4) Lote específico al cual se realiza el ensaye
- (5) Tipo de pieza (tabique, tabicón o bloque)
- (6) Número de expediente si es que se cuenta
- (7) Numero de ensaye realizado, cada ensaye consta de una probeta
- (8) Fecha en que se realizó el muestreo
- (9) Fecha en que se reciben en laboratorio las probetas
- (10) Fecha en que se entrega el informe de los ensayes
- (11) Tipo de mortero con el que se realizan las probetas (tipo I o II)
- (12) Proporción en peso o volumen de cemento, arena y agua utilizada en la fabricación del mortero
- (13) Marca de cemento y cal hidra utilizado
- (14) Clave específica con la que se identifica al cubo de mortero ensayado
- (15) Edad del cubo contada a partir de su elaboración
- (16) Área del cubo ensayado en cm^2 con aproximación al milímetro
- (17) Resistencia a la compresión del mortero en kg/cm^2 calculada como el cociente de la carga máxima entre el área del cubo.
- (18) Resistencia promedio a los 28 días
- (19) Clave del muro con que se identificó al momento de su elaboración, se recomienda que esta clave y la del cubo de mortero estén relacionadas para identificar fácilmente el mortero con el que se construyó el murete
- (20) Edad a la que se realiza el ensayo la cual se recomienda a los 28 días
- (21) Longitud del murete en tensión (medida de la instrumentación antes del ensaye) en cm.
- (22) Longitud del murete en compresión (medida de la instrumentación antes del ensaye) en cm.
- (23) Longitud de la diagonal del murete L_c en cm.

- (24) Espesor del murete en cm.
- (25) Área de la pila en la sección normal a la aplicación de la carga en cm^2
- (26) Resistencia máxima a compresión diagonal en kg/cm^2
- (27) Resistencia máxima a compresión diagonal en Mpa
- (28) 50% de la resistencia a la compresión diagonal en kg/cm^2
- (29) 50% de la resistencia a la compresión diagonal en Mpa
- (30) Carga en el intervalo, con incremento constante cuyo valor depende de la carga máxima que se aplique entre el número de pasos o intervalos.
- (31) Alargamiento a tensión registrada en el transductor uno en mm
- (32) Alargamiento a tensión registrada en el transductor dos en mm
- (33) Deformación unitaria promedio de los transductores a tensión
- (34) Acortamiento a compresión registrado en el transductor uno en mm
- (35) Acortamiento a compresión registrado en el transductor dos en mm
- (36) Deformación unitaria promedio de los transductores a compresión
- (37) Esfuerzo cortante calculado como el cociente de la carga entre la longitud de la diagonal (L_c) registrada en el punto 23, en kg/cm^2
- (38) Esfuerzo cortante en Mpa
- (39) Módulo a cortante de la mampostería calculado de manera gráfica o por interpolación el esfuerzo cortante (τ_1) correspondiente a una deformación angular de 0.00005 y la deformación angular correspondiente al 40% del esfuerzo cortante máximo (τ_2), expresado en kg/cm^2 y Mpa
- (40) Observaciones del ensaye que se considere importante indicar
- (41) Y (42) firmas del personal responsable del laboratorio.

III. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA MAMPOSTERÍA

Se aborda en este capítulo la forma de obtener las resistencias de diseño a la compresión al corte, mediante las ecuaciones indicadas en las Normas Técnicas complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, así también el comportamiento de la mampostería en las edificaciones, sus formas de falla y las opciones para mejorar su comportamiento ante las acciones sísmicas, situación a tomar en cuenta en nuestro país dada la recurrencia de los sismos.

III.1 Tipo de Muros

Los muros se dividen bajo el punto de vista de su función estructural en:

Muros estructurales

De carga o portantes, muros diafragma los cuales están sometidos a cortante, momento y carga axial.

Muros no estructurales

Son aquellos muros que sólo se soportan así mismos, tales como muros divisorios, bardas, pretilas, etc.

Considerando la disposición y cuantía de refuerzo:

Mampostería confinada

Mampostería con refuerzo interior

Mampostería simple

III.2 La Configuración Estructural

Desde la concepción de un proyecto para vivienda o edificio debe tenerse una adecuada estructuración para que los elementos estructurales (en este caso muros) trabajen adecuadamente, debe buscarse que la estructura tenga una buena respuesta ante los sismos, esto se logra con una regularidad en planta y elevación, una distribución de muros que permita la simetría de cargas y rigideces.

Irregularidad en planta (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2010)

Los casos más comunes de irregularidad son:

Asimetría en una o dos direcciones. La asimetría puede ser de la forma o de la distribución de la masa,

Formas en L, T, U, V, Z y en general, con esquinas entrantes pronunciadas

Plantas muy alargadas

Plantas rectangulares con huecos asimétricos

En la figura III.1 se muestran algunos ejemplos de irregularidad en planta

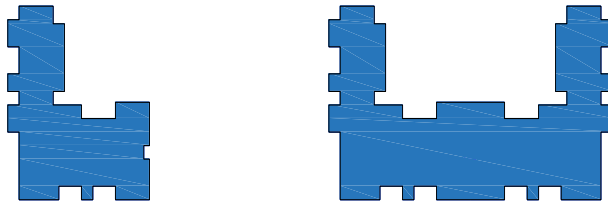


Figura III.1 Irregularidad en Planta, fuente: SMIE

Irregularidad en altura

Muchos edificios de mampostería son irregulares verticalmente, los principales casos son:

- Formas piramidales
- Asimetrías en elevación
- Cambios de rigidez ya sea por cambios abruptos de altura, reducción de secciones, existencia de muros en un sentido y la ausencia en el otro, etc.

Un caso recurrente y peligroso se da cuando la planta baja del edificio se utiliza de estacionamiento ya que esto obliga a la eliminación de muros, lo que resulta en un piso débil, como ilustra la figura III.2

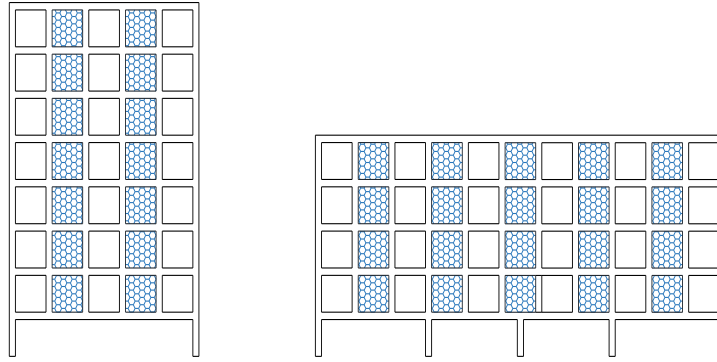


Figura III.2 Edificación con piso débil, fuente: SMIE

III.3 Análisis Sísmico

Se considera por lo general que la mampostería no tiene un comportamiento eficiente ante los sismos, a principios del siglo pasado las estructuras construidas con este material presentaron serias fallas principalmente porque tenían deficiencias en su refuerzo o ausencia de este. En una zona sísmica debe utilizarse siempre mampostería reforzada para asegurar la estabilidad de la estructura. Las NTC2017 indican dos métodos de análisis sísmico el estático y el dinámico (modal y dinámico no lineal paso a paso).

III.3.1 Método Estático

Siempre que se trate de una estructura regular (que cumpla con las condiciones de regularidad señaladas en el Capítulo cinco de las NTC2017 para diseño por sismo) de altura no mayor a 30m y 20m se podrá utilizar el método estático, así también este método no es aplicable a estructuras que pertenezcan al grupo A o que sean muy irregulares (las NTC2017 clasifican a las estructuras en regulares, irregulares y muy irregulares)

Las NTC2017 indican que los efectos de las cargas laterales provocadas por sismo se harán con base en las rigideces relativas de los distintos muros y segmentos de muro. Estas se determinarán tomando en cuenta las deformaciones por cortante y por flexión. Para la revisión del estado límite de falla y para evaluar las

deformaciones por cortante, será válido considerar la sección transversal agrietada en aquellos muros o segmentos más demandados. Para evaluar las deformaciones por flexión se considerara la sección transversal agrietada del muro o segmento cuando la relación de carga vertical a momento flexionante es tal que se presentan tensiones verticales.

Por último la estructura podrá modelarse utilizando el método de la columna ancha o con elementos finitos

III.4 Fallas Presentadas en los Muros de Mampostería

Los muros presentan varias fallas debidas a la acción sísmica, estas se explican a continuación:

a) Falla por deslizamiento

Esta falla se presenta a lo largo de una junta horizontal, se presenta por una falla debida a cortante en la adherencia entre las piezas y el mortero, se ilustra en la figura III.3

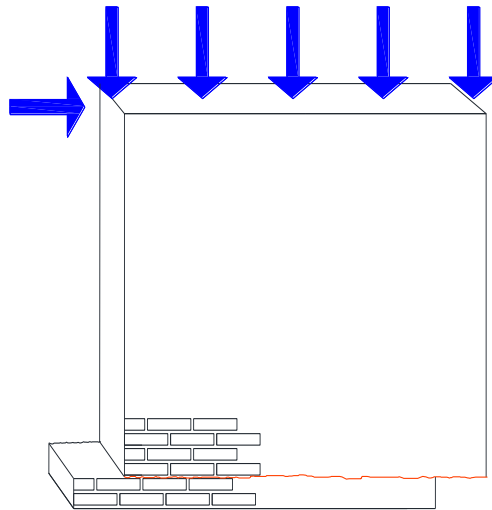


Figura III.3 Falla por deslizamiento, elaboración propia.

b) Falla por cortante

Esta falla se caracteriza por su forma diagonal a lo largo del muro a consecuencia de la tensión diagonal y cortante que ocurre al momento del sismo, la figura III.4 lo ilustra.

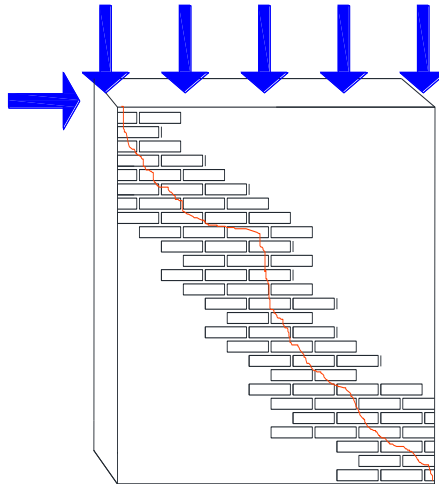


Figura III.4 Falla por cortante, elaboración propia

c) Falla de aplastamiento por compresión diagonal

Se origina cuando el muro se separa de los castillos que le dan confinamiento, situación que genera grandes fuerzas de compresión en la base del muro, es la acción combinada de flexión y cortante.

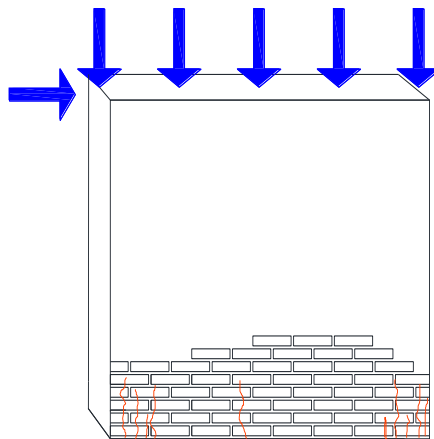


Figura III.5 Falla por flexo compresión, elaboración propia.

III.5 Opciones para Incrementar la Resistencia al Corte

Es recomendable siempre utilizar mampostería reforzada ya sea confinada, con refuerzo interior (tabique extruido) o en su caso con refuerzo horizontal o enmallado, el refuerzo permite que la mampostería que es un material frágil soporte de mejor manera los elementos mecánicos producidos por un sismo. Se definen las opciones de enmallado y refuerzo horizontal a continuación ya que estas son el objeto de estudio de este proyecto.

III.5.1 Refuerzo Horizontal

El refuerzo horizontal en muros de mampostería ha demostrado ser una solución eficiente mejorando su comportamiento, entre las ventajas se pueden mencionar:

- Los esfuerzos se distribuyen de mejor manera lo que provoca una disminución de las grietas,
- La energía sísmica se disipa de mejor manera,
- Se incrementa la resistencia al cortante,
- Adquiere la capacidad de mayor deformación,
- Mecanismo de colapso no frágil

La figura III.6 muestra el refuerzo horizontal en muro de mampostería de tabique rojo recocido, ensayado en el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)



Figura III.6 Detalle de refuerzo horizontal en muro, fuente: CENAPRED

En las figuras III.7, III.8 y III.9 se observan detalles del refuerzo horizontal, indicados en las NTC CDMX 2017

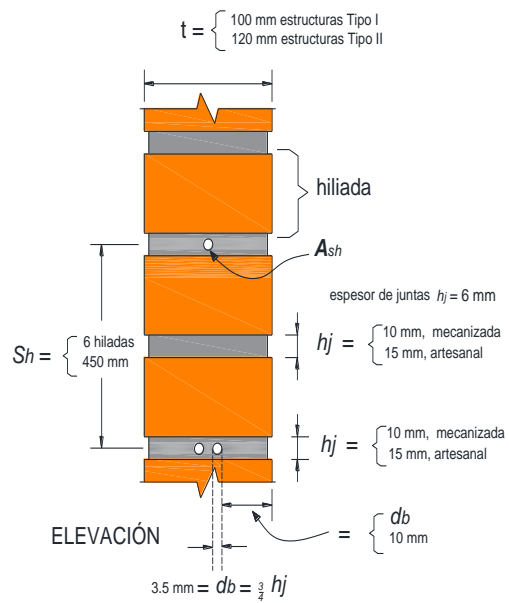


Figura III.7 Detalle en elevación del refuerzo horizontal, fuente: NTC CDMX 2017. Elaboración propia

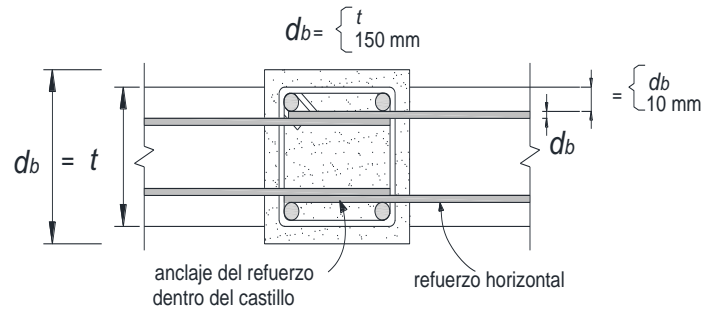


Figura III.8 Detalle en planta del refuerzo horizontal, fuente: NTC CDMX 2017

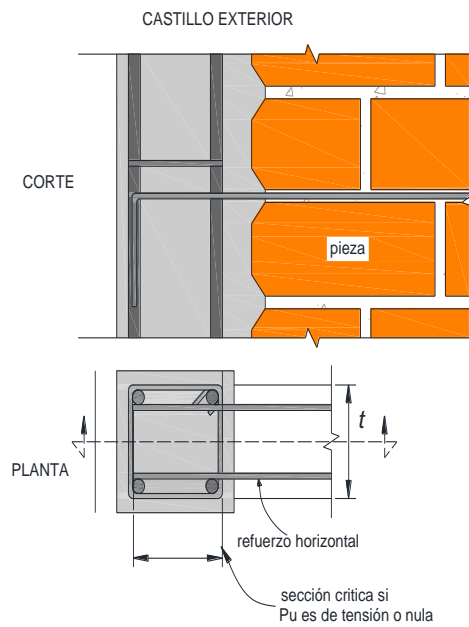


Figura III.9 Anclaje del refuerzo horizontal, fuente: NTC CDMX 2017

Diseño del refuerzo horizontal

La fuerza cortante resistente debida al refuerzo horizontal se calcula como sigue:

$$V_{SR} = FR \eta Ph f_{yh} At \quad (III.1)$$

Donde:

$$Fr = 0.75$$

El valor de η se calcula como indica:

a) Si el muro está sujeto a una carga axial P de compresión,

$$\eta = \frac{V_{mR}}{FR Ph Fyh At} (koki - 1) + \eta_s \quad (III.2)$$

$$Ph = \frac{Ash}{S_{ht}} \quad (III.3)$$

$$k_o = \begin{cases} 1.3 & \text{si } H/L \leq 1.0 \\ 1.0 & \text{si } H/L \geq 1.5 \end{cases} \quad (III.4)$$

$$k_1 = 1 - \alpha Ph f_{yh} \quad (III.5)$$

$$\eta_s = \begin{cases} 0.75 & \text{si } f'_m \geq 9 \text{Mpa} (90 \text{kg/cm}^2) \\ 0.55 & \text{si } f'_m \leq 6 \text{Mpa} (60 \text{kg/cm}^2) \end{cases} \quad (III.6)$$

Tomando también las siguientes consideraciones:

El valor de k_1 no será menor que $(1 - 0.1 f_{an} f'_m \alpha)$

Para casos intermedios de H/L y f'_m se interpolará linealmente para obtener los valores de k_o y η_s respectivamente; $\alpha = 0.45 \text{ Mpa} (0.045 \text{ kg/cm}^2)$

Cuando el valor de $Ph f_{yh} > 0.1 f_{an} f'_m$ el valor η_s se multiplicará por $0.1 \frac{f_{an} f'_m}{Ph} f_{yh}$

b) Si el muro está sujeto a una carga axial P de tensión,

$$\eta = k_1 \eta_s \quad (III.7)$$

Los valores de k_1 y η_s se calcularán de acuerdo con el apartado a)

Se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones en el diseño:

El refuerzo horizontal consistirá de barras corrugadas o alambres corrugados laminados en frío que sean continuos a lo largo del muro,

No se usaran escalerillas

El f_{yh} (esfuerzo especificado de fluencia) no deberá ser mayor de 600 Mpa (6000 kg/cm²)

La separación máxima del refuerzo no será mayor a 4 hiladas ni 450mm

El producto de la cuantía de refuerzo horizontal y el esfuerzo de fluencia especificado $Ph f_{yh}$ no será inferior que 0.3 Mpa (3kg/cm²)

El valor máximo $Ph f_{yh}$ será $0.15 f_{an} f'_m$ pero no menor que 0.3 Mpa (3kg/cm²) ni mayor que $0.05 h_j f_{yh} / S_h$, donde h_j es el espesor de la junta horizontal.

III.5.2 Enmallado

Es una opción para aumentar la resistencia ante los elementos mecánicos en los muros de mampostería, consiste en ahogar una malla de alambre soldado de un $f_y=5000\text{kg/cm}^2$ como máximo en el mortero que cubre al muro, este mortero tendrá un espesor mínimo de 15mm y será tipo I (definido previamente). En la figura II.10 se observan los detalles de esta opción de refuerzo. La figura III.11 ejemplifica un muro enmallado de una probeta ensayada en el CENAPRED.

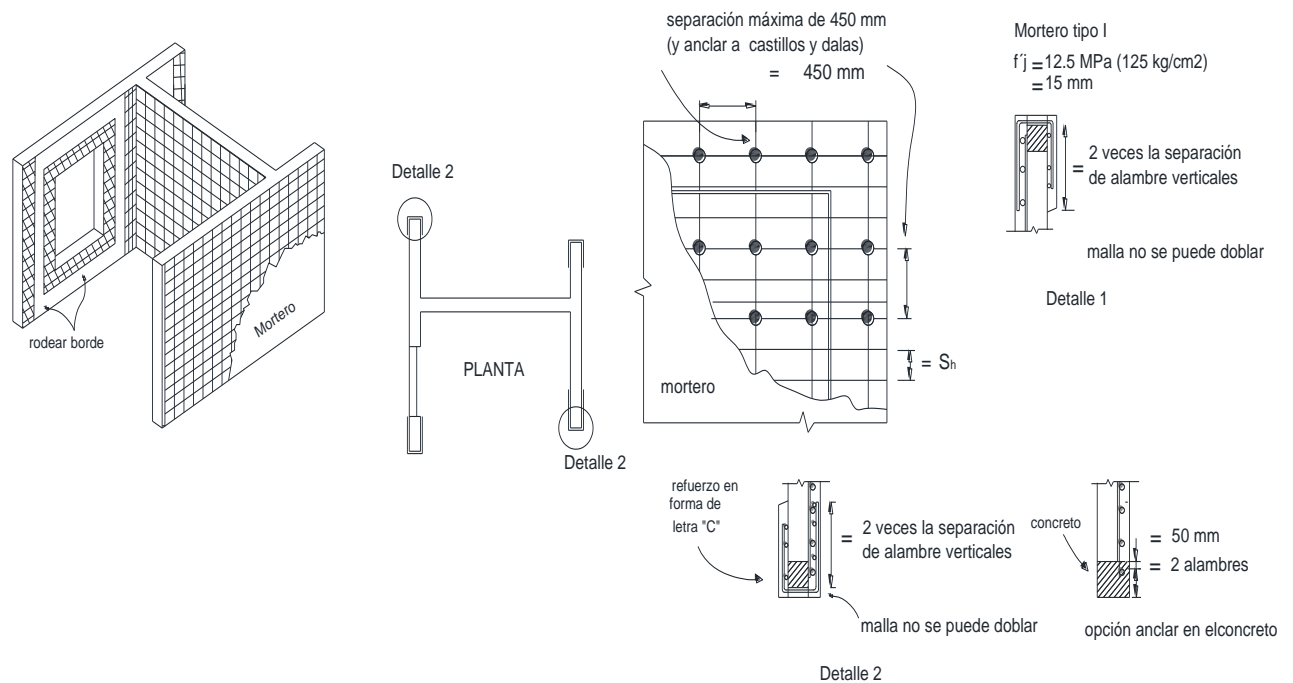


Figura III.10 Refuerzo con malla de alambre soldado, fuente: NTC CDMX 2017



Figura III.11 Muro de tabique rojo recocido enmallado, fuente: CENAPRED

Algunas indicaciones sobre esta opción de refuerzo se enlistan a continuación:

- La separación máxima entre elementos de sujeción será de 450mm
- La malla debe rodear los bordes verticales de muros y aberturas
- La malla puede estar en contacto con la mampostería
- El esfuerzo de fluencia de la malla $f_y h$ no será mayor a 5000 kg/cm²

Diseño de la malla

- Para fines de diseño de la malla la cuantía a considerar será la de los alambres horizontales,
- si la malla está inclinada se consideran las componentes horizontales.
- No se considera aporte del mortero en la resistencia al cortante
- La fuerza cortante que la malla absorbe se calcula con la ecuación III.1
- En las ecuaciones III.2 y III.7 se tomará $\eta_s = 0.5$

III.6 Resistencia a Cargas laterales en la Mampostería

La resistencia total de la mampostería a cargas laterales es la suma de la resistencia a cortante de diseño en la mampostería V_{mR} , más la resistencia dada por el refuerzo horizontal o el enmallado V_{sR} .

$$V_R = V_{mR} + V_{sR} \quad (\text{III.8})$$

Fuerza Cortante resistida por la mampostería, se obtiene con la expresión:

$$V_{mR} = FR [(0.5 V'_m At + 0.30P). f] \leq 1.5FR V'_m At f \quad (III.9)$$

Donde:

At es el área transversal del muro incluyendo a los castillos pero sin transformar su área transversal.

$FR = 0.70$ Factor de reducción

V'_m Es la resistencia a la compresión diagonal de la mampostería definida previamente.

P es la carga axial que se deberá tomar positiva en compresión y deberá considerar las acciones permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor y sin multiplicar por el factor de carga, si P es de tensión se despreciará la contribución de la mampostería.

El factor f se determina como:

$$f = \begin{cases} 1.5 & \text{si } H/L \leq 0.2 \\ 1.0 & \text{si } \frac{H}{L} \geq 1.0 \end{cases} \quad (III.10)$$

Para valores intermedios de f se podrá interpolar linealmente.

IV. IMPORTANCIA DE LOS ENSAYES DE LABORATORIO

Con la intención de mostrar la importancia de realizar los ensayos de laboratorio que permitan obtener las propiedades mecánicas de la mampostería, se aborda en este capítulo las opciones de refuerzo en la mampostería para incrementar su resistencia ante cargas laterales. Las opciones de refuerzo son como ya se mencionó en el capítulo III el refuerzo horizontal y el enmallado. Previamente se han obtenido las propiedades de la mampostería de tabique rojo recocido fabricado en Cholula Puebla, con los valores obtenidos se calculan las resistencias con refuerzo horizontal y con enmallado después se comparan con las resistencias obtenidas con valores indicados en la norma.

IV.1 Comportamiento Utilizando Refuerzo Horizontal

En el apartado III.5.1 se mencionaron las ventajas de colocar refuerzo horizontal en la mampostería entre las que destaca el aumento en la resistencia al corte y un mecanismo de colapso no repentino como se da en materiales frágiles. Sin embargo las NTCCDMX 2017 señalan que para estructuras del Tipo I se pueden tomar para diseño los valores de $f'm$ y $V'm$ que se indican en tablas, dicho valores son los mínimos con los que debe cumplir la mampostería. En el caso de estructuras Tipo II se deben realizar ensayos de laboratorio para disponer de estos datos y diseñar con valores cercanos al comportamiento real de la estructura.

Por lo anterior con base en las expresiones de las normas técnicas se realizan gráficos de resistencia ante cargas laterales en la mampostería, considerando diferentes cuantías; en dos casos generales con valores de $f'm$ y $V'm$ dados por la norma y con valores obtenidos en laboratorio (valores de $f'm$ y $V'm$ mayores).

IV.1.1 Resistencia con Valores $f'm$ y $v'm$ de la Norma

Utilizando los valores indicados en la norma con $f'm = 20 \text{ kg/cm}^2$ y $V'm = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ para mampostería de tabique rojo recocido de fabricación artesanal, se realizó el grafico mostrado en la figura IV.1 en el cual se tiene como variable independiente la

relación altura entre longitud de muro (relación de esbeltez H/L) y se utilizó la ecuación II.8 para el cálculo de la resistencia ante cargas laterales.

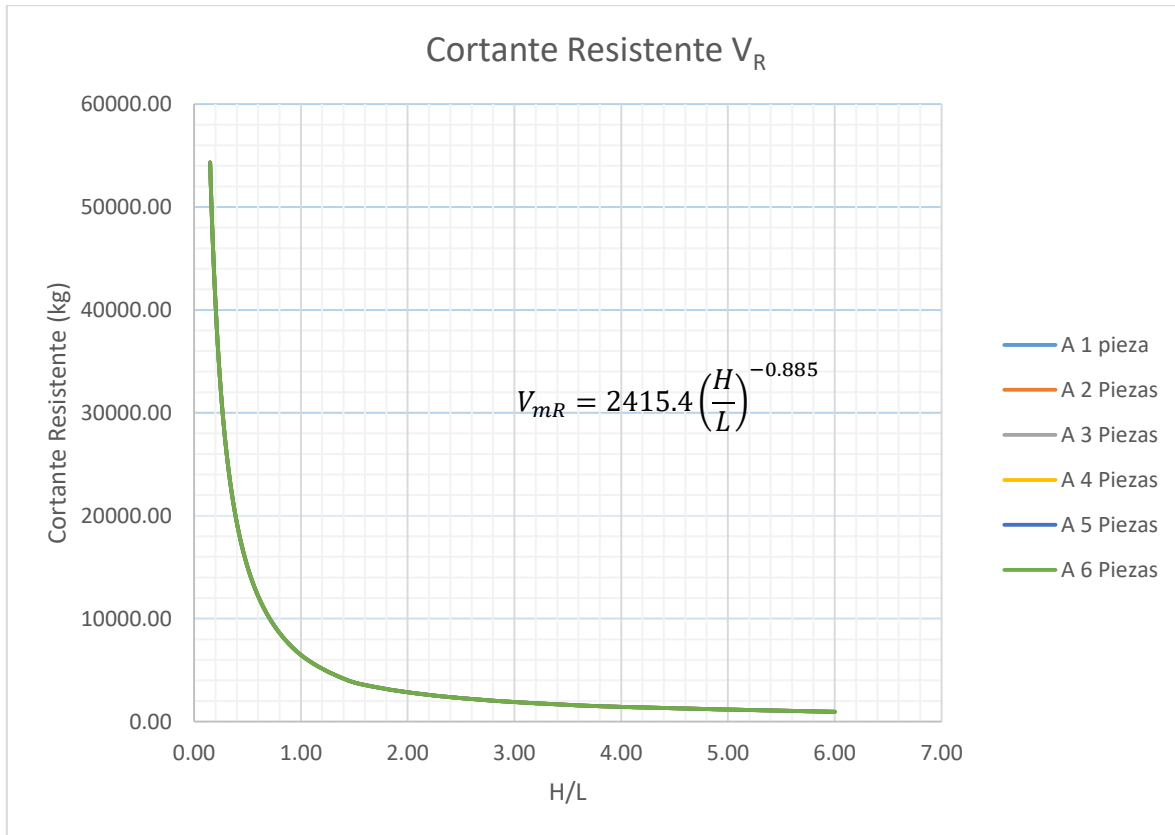


Figura IV.1 Gráfico Cortante Resistente – Relación H/L, para dos barras de 5/32" de diámetro, $f_{yh}=6000\text{kg/cm}^2$ a diferentes separaciones.

Las dimensiones de la mampostería de tabique rojo recocido corresponden a la que se fabrica de forma artesanal en Cholula, Puebla, se presentan en la tabla IV.1

Concepto	Dimensión (cm)
Ancho (t)	13.5
Espesor	7.00
Espesor de Junta (hj)	1.50

Tabla IV.1 Dimensiones de la pieza de tabique rojo recocido de Cholula Puebla.

Se observa que la resistencia que adquiere la mampostería al colocar refuerzo horizontal no se incrementa al aumentar la cuantía de acero o incluso al disminuirla, los gráficos de la figura IV.1 se obtienen al proponer dos barras de 5/32" de diámetro y la resistencia al cortante por refuerzo horizontal V_{SR} es la misma para una separación de una, dos, tres, cuatro y cinco hiladas es decir a 8.5cm, 17cm, 25.5cm, 34cm y 42.5cm (la separación a seis hiladas es mayor a 45cm que es lo máximo en la norma) respectivamente por lo que se puede utilizar o colocar la mínima cuantía, que corresponde a dos barras a cada cinco hiladas y optimizar el refuerzo.

Obviamente la resistencia que aporte el refuerzo horizontal disminuirá si se coloca una barra, es decir si se disminuye el área de acero, pero en caso de aumentar el número de barras o el diámetro la resistencia seguirá siendo la misma.

Por lo que el refuerzo óptimo considerando los valores indicados en la norma se logra al colocar dos barras de 5/32" con $F_{yh}=6,000 \text{ kg/cm}^2$ a cada cinco hiladas (42.5 cm aproximadamente).

La función que permite calcular la resistencia a cargas laterales V_{mR} de la mampostería de tabique rojo recocido fabricado en Cholula Puebla con valores $f'm$ y $V'm$ de la norma considerando dos barras de 5/32" de refuerzo horizontal es:

$$V_{mR} = 2415.4 \left(\frac{H}{L} \right)^{-0.885} \quad (IV.1)$$

IV.1.2 Resistencia con Valores $f'm$ y $v'm$ Obtenidos en Laboratorio

Siguiendo el mismo procedimiento con valores de la norma, se calculó la resistencia de la mampostería ante diferentes cuantías de acero pero con valores $f'm$ y $V'm$ obtenidos en los ensayos. En la figura IV.2 se muestra el grafico resistencia al cortante contra la relación H/L, en la cual se tomó $f'm=35.23 \text{ kg/cm}^2$ y $V'm=3.84 \text{ kg/cm}^2$ con las mismas dimensiones en la mampostería.

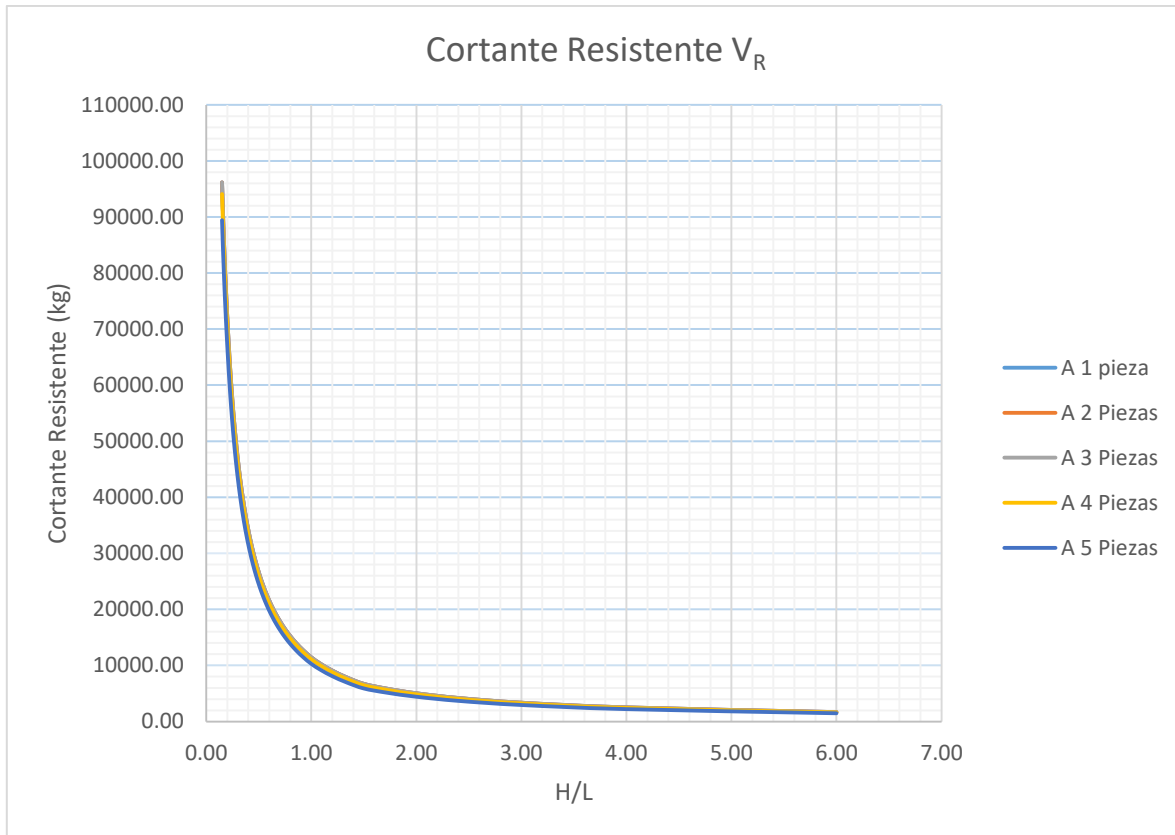


Figura IV.2 Gráfico Cortante Resistente – Relación H/L, para dos barras de 5/32" de diámetro, $f_y = 6000 \text{ kg/cm}^2$ a diferentes separaciones.

En el gráfico anterior se observa un incremento en la resistencia a cortante del muro V_R debido a valores de f'_m y V'_m mayores a los estipulados en la norma.

El incremento en la resistencia debido al refuerzo horizontal V_{SR} es del 60% al 65% a una separación de tres hiladas (25.5 cm) del 50% al 55% para cuatro hiladas (34cm) y para cinco hiladas (42.5cm) del 18% al 33% sin embargo a esta separación el acero colocado no cumple con la cuantía mínima. Así también se observa que para separaciones a una pieza y dos piezas el acero colocado sobrepasa la cuantía máxima.

Con valores obtenidos en laboratorio la cuantía óptima es a cuatro hiladas al considerar el incremento en resistencia al corte, las indicaciones en la norma y la economía.

Adicionalmente se indican a continuación las ecuaciones para calcular las resistencias a fuerza lateral para tres y cuatro hiladas de separación:

$$V_{mR} = 3987.7 \left(\frac{H}{L}\right)^{-0.885} \quad (IV.2)$$

$$V_{mR} = 3715.8 \left(\frac{H}{L}\right)^{-0.88} \quad (IV.3)$$

IV.2 Comportamiento con el Enmallado

En el apartado II.5.2 se menciona el diseño de muros de mampostería considerando el enmallado, la diferencia respecto al refuerzo horizontal estriba en la cuantía, para el enmallado se considera la separación y área de las barras según el tipo de malla que se decida utilizar.

IV.2.1 Resistencia con Valores f'_m y V'_m de la Norma

Para los valores f'_m y V'_m tomados de la norma se realizó el grafico de la figura IV.3 que muestra en el eje de las abscisas la relación H/L y la resistencia a cargas laterales V_R en el eje de las ordenadas. Se grafican dos casos; con malla 6x6 – 10/10 en ambas caras del muro y con malla 6x6 – 8/8 solo en una de las caras del muro. Para el caso de una malla la cuantía es insuficiente con malla 6x6 – 10/10 según especificaciones de la norma por lo que se propuso con un calibre mayor, ambas mallas son de $f_{yh}=5000 \text{ kg/cm}^2$ (valor de fluencia máximo)

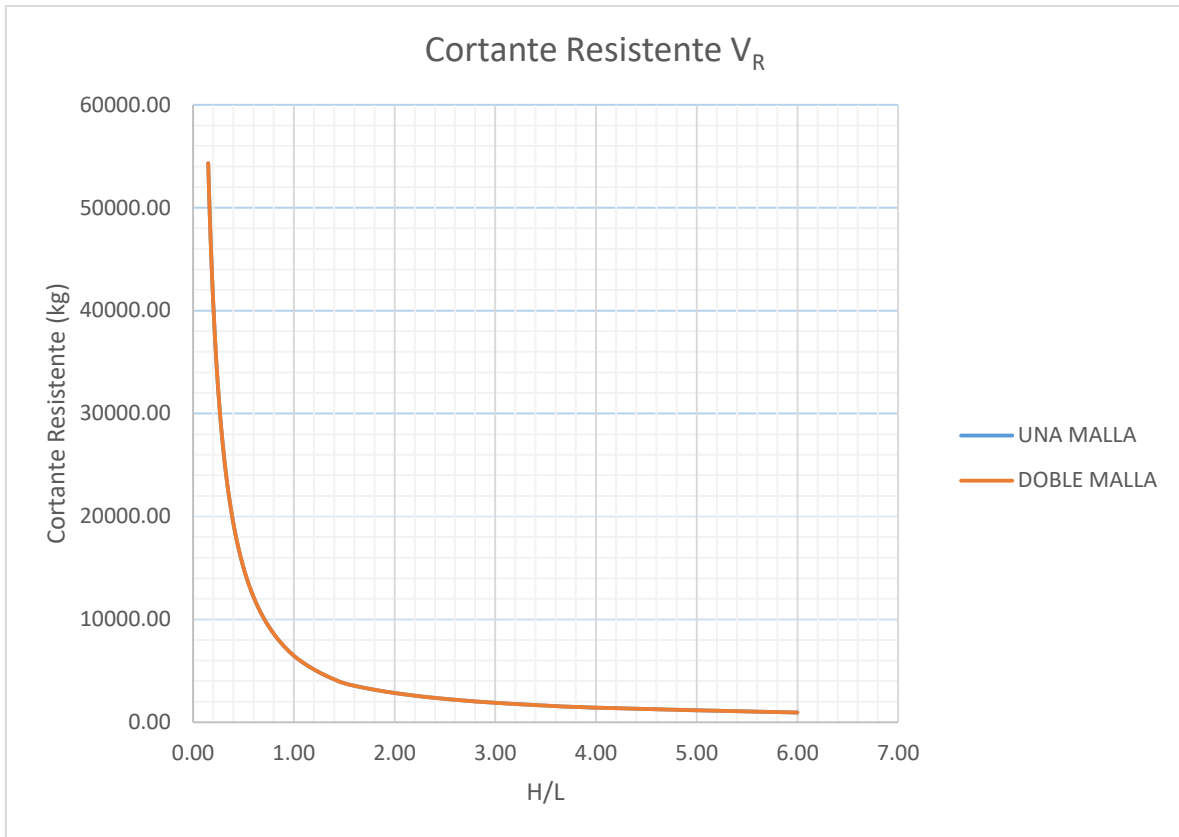


Figura IV.3 Gráfico Cortante Resistente – Relación H/L, para una malla 6x6 – 8/10 y dos mallas 6x6 – 10/10 de $f_y h = 5000 \text{ kg/cm}^2$

Con $f'_m = 20 \text{ kg/cm}^2$ y $V'_m = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ se logra un incremento de la resistencia ante el cortante por parte del muro colocando el enmallado, el cual es el mismo con una o dos mallas como se ve en la figura anterior (siempre que se cumplan los valores de cuantía mínima o máxima)

El enmallado óptimo para el caso de una cara es con malla 6x6 – 8/8 y para dos caras 6x6 – 10/10

Al ser las resistencias iguales la expresión para el cálculo de V_R con una o dos mallas es la siguiente:

$$V_{mR} = 2415.4 \left(\frac{H}{L} \right)^{-0.885} \quad (\text{IV.4})$$

IV.2.2 Resistencia con Valores $f'm$ y $V'm$ Obtenidos en Laboratorio

Con base en los ensayos realizados en el laboratorio de estructuras se obtuvo $f'm$ y $V'm$, de manera semejante al caso de valores de la norma, se graficaron los casos de una y dos mallas, el grafico IV.4 muestra los resultados.

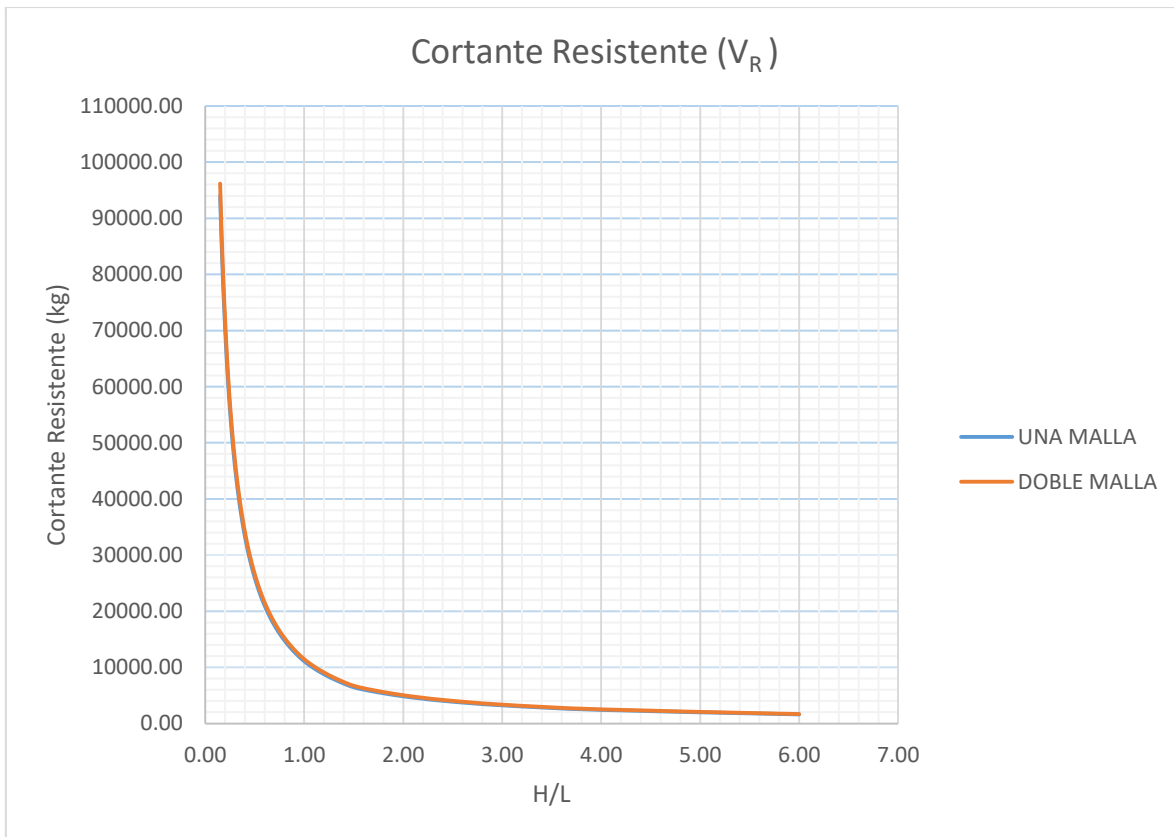


Figura IV.4 Gráfico Cortante Resistente – Relación H/L con datos de laboratorio, para una malla 6x6 – 8/8 y dos mallas 6x6 – 10/10 de $f_y=5000\text{kg/cm}^2$

Al utilizar valores de $f'm$ y $V'm$ mayores a lo que indica la normativa, se tienen valores de V_R mayores un 70% y en el caso de dos mallas resistencias un 5% más grandes respecto a utilizar malla en una cara del muro, con la observación que en el caso de dos mallas el calibre es menor. Los calibres propuestos cumplen con las cuantías máximas y mínimas.

Las expresiones IV.5 y IV.6 siguientes permiten obtener V_R para una malla 6x6 – 8/8 y dos mallas 6x6 – 10/10, con $f'm = 35.23 \text{ kg/cm}^2$ y $V'm = 3.84 \text{ kg/cm}^2$

$$V_{mR} = 3706.5 \left(\frac{H}{L} \right)^{-0.88} \quad (\text{IV.5})$$

$$V_{mR} = 3987.7 \left(\frac{H}{L} \right)^{-0.885} \quad (\text{IV.6})$$

Conclusiones

Disponer de las propiedades de la mampostería permite no solo cumplir con las indicaciones de la norma, también permite dar una mayor seguridad a los ocupantes de las edificaciones, el manual presentado puede ser la base para que la Facultad de Ingeniería preste este servicio a la sociedad, de manera confiable, mediante un procedimiento basado en la norma y coadyuvar de esta forma con el desarrollo de la sociedad ya que la mayor parte de la vivienda en el país se construye con este material.

Siguiendo el proceso de cálculo que indica la norma se realizó una comparativa de incremento de resistencia colocando refuerzo horizontal o enmallando el muro, utilizando los valores obtenidos en laboratorio contra los valores propuestos en la normativa y se comprobó que aun con un pequeño incremento de resistencia en las propiedades, las opciones de refuerzo pueden aumentar en mayor porcentaje las resistencias.

Bibliografía

CONAVI, 2010. *Código de Edificación de Vivienda*. Segunda ed. México: s.n.

Corona, L. F., 2015. *Análisis de Estructuras de Mampostería*. Primera ed. Mexico: SMIE.

E., J. J. P. G., s.f. *Resistencia a Corte de Muros de Mampostería Confinada*, México: s.n.

Fundación ICA, A.C., 2003. *Edificaciones de Mampostería para Vivienda*. Tercera ed. México: s.n.

Gaceta Oficial , s.f. "*Normas Técnicas Complementarias para Diseño y C*. s.l.:s.n.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 2013. *Industria de la Construcción - Mampostería - Resistencia a la Compresión de Bloques, Tabiques o Ladrillos o tabicones y Adoquines- Metodo de Ensayo. NMX-C-036-ONNCCE-2013*. s.l.:s.n.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción., 2010. *Industria de la Construcción - Mampostería - Determinación de la Resistencia a Compresión Diagonal y Módulo de Cortante de Muretes, así como la Determinación de la Resistencia a Compresión y Módulo de Elasticidad de Pilas. NMX-C-464-ONNCCE-2010*. México: s.n.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción., 2012. *Industria de la Construcción - Mampostería - Bloques, tabiques o Ladrillos y Tabicones para uso Estructural - Especificaciones y Métodos de Ensayo. NMX-C-404-ONNCCE-2012*. s.l.:s.n.

Rosenblueth, E., s.f. *Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos*. Segunda ed. México: IMCYC.

Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2010. *Guía para el Análisis de Estructuras de Mampostería*. México: s.n.

Treviño, D. E. L. T., 2014. *Curso Regional sobre Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*, Monterrey: s.n.

