

Revisión Bibliográfica Sobre Ensayos A Compresión En Prismas De Mampostería

Bibliographical Review On Compression Tests On Masonry Prisms

Autores

Erick Cuza Bayón¹, Orlando Reyes Viñas², Nelson Fundora Sautié³, Janet Otmara Martínez Cid⁴

¹ Ingeniero Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, #11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba, [E-mail: cuzaerick@gmail.com](mailto:cuzaerick@gmail.com)

² Ingeniero Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, #11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba, E-mail: oreyesv@civil.cujae.edu.cu

³ Ingeniero Civil, Doctor en Ciencias, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, #11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba, E-mail: nelsonfs@civil.cujae.edu.cu

⁴ Ingeniera Civil, Doctora en Ciencias, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, #11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba, E-mail: jcid@civil.cujae.edu.cu

RESUMEN

Las estructuras de mampostería han sido utilizadas para la construcción de edificaciones desde tiempos remotos. En Cuba, el empleo de esta tipología constructiva está ampliamente difundida, llegándose a construir edificaciones de hasta seis niveles. La resistencia a compresión del muro de mampostería constituye la característica fundamental a evaluar para el diseño de la mampostería estructural. Para estimar esta propiedad, usualmente se llevan a cabo ensayos a prismas. Estos ensayos constituyen la base de las expresiones empíricas reflejadas en la mayoría de las normativas. Sin embargo, no existe documentación nacional que regule la realización de dichos ensayos. Por tal razón, en el presente trabajo se presenta una revisión de la literatura afín a los ensayos de compresión simple de prismas de mampostería, particularmente, los de unidades de bloques de hormigón, por ser la unidad de mampostería más utilizada en la actualidad. Los resultados de la revisión permiten establecer parámetros como la altura mínima de los prismas, la temperatura de almacenamiento, edad para ensayar los prismas, equipamiento, protocolo de aplicación de la carga y expresiones para determinar la resistencia a compresión a partir de ensayos experimentales. Además, se establece que la falla por agrietamiento vertical es la causa más común del fallo de los prismas.

Palabras claves: bloques de hormigón, ensayo a compresión, mampostería, prisma.

ABSTRACT

Masonry structures have been used for the construction of buildings since ancient times. In Cuba, the use of this constructive typology is widespread, reaching the construction of buildings of up to six levels. The compressive strength of the masonry wall is the fundamental characteristic to be evaluated for the design of the structural masonry. To estimate this property, prism tests are usually carried out. These tests constitute the basis of the empirical expressions reflected in most regulations. However, there is no national documentation that regulates the performance of such tests. For this reason, this paper presents a review of the literature related to the simple compression tests of masonry prisms, particularly those of concrete block units, as it is the most widely used masonry unit today. The results of the review allow establishing parameters such as the minimum height of the prisms, storage temperature, age to test the prisms, equipment, load application protocol and expressions to determine the compressive strength from experimental tests. Furthermore, it is established that vertical cracking failure is the most common cause of failure of prisms..

Keywords: concrete blocks, compression test, masonry, prism

Nota Editorial: Recibido: Marzo 2022 Aceptado: Marzo 2022

1. Introducción

La estructura de mampostería está definida, de forma general, como una construcción compuesta por unidades o piezas naturales o moldeadas, por lo general suficientemente pequeñas para que puedan ser manipuladas por una persona y adheridas mediante conglomerantes o elementos de agarre mecánico, que posteriormente formarán parte de la estructura resistente [1-3].

La mampostería ha sido ampliamente empleada a nivel mundial por lo que cuenta con varias normas que regulan los métodos de cálculo, propiedades físico mecánicas y disposiciones constructivas [4-6]. En Cuba, esta técnica es considerada tradicional empleándose fundamentalmente, los bloques de hormigón para la construcción de los muros estructurales en de edificaciones de hasta 6 niveles en su mayoría destinadas a viviendas, incluso ubicadas en la zona oriental clasificada como de alto riesgo sísmico [7]. El ensayo a compresión de la mampostería constituye la vía más precisa para la estimación de la propiedad más importante del muro de mampostería: la resistencia a compresión [8, 9].

En general, existen tres tipos de muestras de bloques a considerar en los ensayos: prismas, muretes y muros (figura 1). Los prismas de bloques constituyen una serie de bloques, uno encima del otro, con capas de mortero entre ellos. El murete de bloques es un muro pequeño con varias hiladas de bloque. El ancho del murete habitualmente consiste en 3 o más bloques. Usualmente el murete contiene más unidades de mampostería que el prisma. Los muretes tienen un desempeño más realista que los prismas debido a que contienen cierto número de juntas perpendiculares. Por otra parte, un muro de bloques constituye una pared de dimensiones comparables a las reales [10]. Evidentemente, el costo de los prismas es el menor de los tres tipos de especímenes. Por tal razón, numerosos investigadores utilizan los prismas para estudiar el comportamiento y las formas de fallo de la mampostería [10-16].

Es de suma importancia la adecuada preparación y ejecución de los ensayos experimentales con el fin de garantizar resultados representativos de las muestras analizadas. En Cuba no existe documentación que brinde especificaciones para llevar a cabo estos ensayos, por tal motivo, en este trabajo se presenta una revisión de la literatura relacionada a los ensayos de compresión simple de prismas de mampostería, particularmente, los de unidades de bloques de hormigón, por ser la unidad de mampostería más utilizada en la actualidad para la construcción de muros estructurales.



(a)



(b)



(c)

Figura 1: Tipos de muestras. (a) Prisma de bloques [16]. (b) Murete de ladrillos [17]. (c) Muro de bloques [11]

2. Propiedades de la mampostería

La mampostería está formada, fundamentalmente, por dos elementos: la unidad de mampostería y el mortero [18]. La mampostería, además, puede estar macizada con hormigón fluido, ya sea solo o con presencia de acero de refuerzo. En este epígrafe se presentan las características fundamentales de los elementos constituyentes de la mampostería.

2.1. Unidades de mampostería

Las unidades de mampostería se pueden encontrar en las más diversas formas, tamaños, materiales, terminaciones y texturas [13, 19-21]. Los tipos de unidades más comunes, usualmente rectangular, son los ladrillos de arcilla, azulejos de arcilla, bloques de hormigón, bloques de hormigón aligerados, los ladrillos de suelo-limo y las piedras naturales [20].

Se define como bloque de hormigón a toda pieza prefabricada a base de cemento, agua, áridos finos y/o gruesos, naturales y/o artificiales, con o sin aditivos, incluidos pigmentos, cuya forma es sensiblemente ortoédrica y sin armadura alguna [4, 22, 23].

Pueden presentar en disímiles formas que responden a una función específica como los bloques para cerramiento, con aberturas que permitan la colocación de acero horizontal en muros reforzados o medios bloques empleados como matajuntas. Estos pueden ser, además, macizos o ahuecados. Cada una de las variantes responde a un uso en específico [19, 24, 25] (Figura 2).

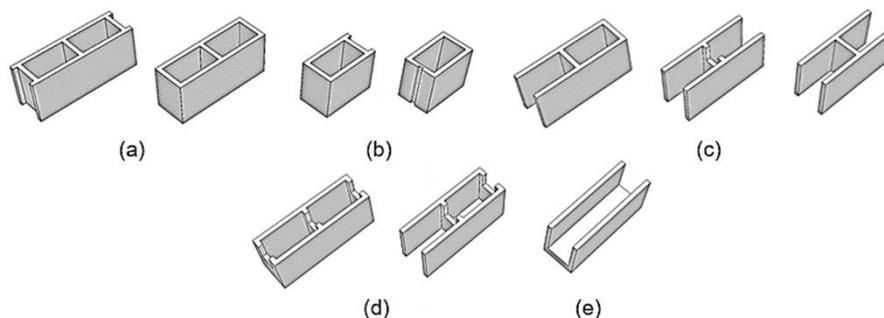


Figura 2: Tipos de bloques de hormigón más comunes. (a) Unidad básica. (b) Mitad (unidad de longitud reducida). (c) Con terminales abiertos. (d) Para colocación de acero horizontal. (e) Cerramiento.

Las dimensiones nominales deben adaptarse a los valores normados por los reglamentos de cada país. En la Tabla 1 se presentan los valores establecidos por la normativa cubana [22]. En esta tabla, l es la longitud, b el ancho y h la altura.

Tabla 1: Dimensiones principales y tolerancias admisibles [22]

Tipo de bloque	l (± 3 mm)	b (± 3 mm)	h (± 3 mm)
I	495	200	195
	395		
II	495	150	
	395		
III	495	100	
	395		
IV	495	65	
	395		

En cuanto a los índices físico-mecánicos en la Tabla 2 se reflejan los tipos de bloques adoptados por la norma cubana [22]. La resistencia mínima a compresión del bloque para muros portantes debe ser de 5,0 MPa (Bloque Tipo II).

Tabla 2: Índices físico-mecánicos [22].

Tipo de bloque	Resistencia a la compresión		
	Mínima a los 7 días	Absorción máxima	Mínima a los 28 días
	MPa	%	MPa
I	5,6	8,0	7,0
II	4,0	10,0	5,0
III	2,0	-	2,5
IV	2,0	-	2,5

Para determinar la resistencia a compresión de los bloques se lleva a cabo el ensayo a compresión simple de los mismos. En este ensayo, básicamente, se le aplica la carga al bloque de forma continua, hasta la mitad de la carga máxima de fallo esperada. Posteriormente se aplica la carga restante en un rango de 1 a 2 minutos [26, 27].

Otra propiedad fundamental a medir en los bloques es la absorción. Esta describe la cantidad de agua que un bloque puede mantener una vez saturado. Para un determinado diseño de mezcla, proceso de elaboración y curado, las variaciones en la absorción pueden indicar la presencia de materiales deteriorados en la mezcla, la calidad de la mezcla, el índice de compactación y el volumen de vacíos en el bloque, parámetros que reflejan las variaciones en la resistencia a compresión, resistencia a tracción, durabilidad, problemas en los procedimientos de laboratorio y otras causas.

Estudios demuestran una relación directa entre el contenido de humedad del bloque, la temperatura de secado y el tiempo de secado con respecto a su resistencia a compresión [28].

En la Tabla 3 se presenta un resumen de la resistencia mínima a compresión del bloque, para muros portantes, a partir de las normativas consultadas.

Tabla 3: Tabla resumen. Resistencia a compresión mínima del bloque para muros portantes según normativas consultadas

Norma	Resistencia mínima a compresión (MPa)
NC-247, 2010 [22]	5,0
ASTM-C55, 2001 [29]	13,8
CIRSOC-501, 2007 [30]	13,0
IBC, 2018 [2]	13,8
NTP-E.070, 2006 [4]	4,9
NEC-SE-MP, 2014 [6]	13,8
RNC-MP-001, 2017 [5]	10,6
UBC, 1997 [31]	11,7

2.2. Mortero

Los morteros de albañilería son una mezcla plástica de uno o varios conglomerantes minerales, áridos, agua y pueden tener adiciones y/o aditivos. En función del lugar de colocación los morteros se clasifican en morteros de revestimientos o repellos y morteros de colocación [31, 32]. Estos últimos serán el tipo de mortero de interés de este trabajo.

Históricamente, los morteros han sido elaborados a partir de gran variedad de materiales. Se ha utilizado: barro común, tierra con cenizas y arena con limo, entre otros. En la actualidad, los morteros están compuestos por materiales cementicios y arena bien graduada [19]. El conglomerante más generalizado para la construcción de obras de albañilería es el cemento, el cual será el empleado en este estudio.

Los morteros de albañilería se utilizan para la colocación y unión de las unidades de mampostería brindándoles un asiento para buscar el nivel adecuado y la correcta colocación de las mismas, además, proveen resistencia a la compresión y a cortante del muro. Este permite cierto movimiento y elasticidad entre las unidades y asumen las inevitables irregularidades de las piezas de mampostería [19, 20, 24, 25]. Las propiedades de los morteros se dividen en: propiedades en estado fresco y propiedades en estado endurecido, a continuación, estas son descritas de forma resumida.

Propiedades en estado fresco

Las propiedades en estado fresco reflejadas en la norma cubana NC 175 [32] son la laborabilidad, retención de agua y tiempo de utilización.

La laborabilidad es la propiedad más importante del mortero fresco. El mortero laborable facilita la colocación de las piezas de albañilería y es más fácil de aplicar a las paredes y juntas. La laborabilidad se mide en el laboratorio por medio de la fluidez, la cual indica el aumento del diámetro producido en una muestra de mortero fresco moldeado en un molde tronco-cónico de dimensiones determinadas. La fluidez recomendada para los morteros de albañilería y determinada por la NC 170 [33] es de 190 mm \pm 5 mm de diámetro.

Según la NC 175 [32] se define como retención de agua a la capacidad de un mortero de mantener su laborabilidad cuando éste ha sido sometido a la succión de las unidades de albañilería y al proceso de evaporación. Este parámetro puede incrementarse al aumentar el contenido de cal o aire en el mortero y utilizando aditivos retenedores de agua. La capacidad de retención de agua se determina por la NC 169 y no será menor del 90% [32].

Por otra parte, se establece como tiempo de utilización al tiempo durante el cual el mortero tiene suficiente laborabilidad para ser manipulado sin necesidad de adición de agua [32].

Propiedades en estado endurecido

En el caso de las propiedades en estado endurecido, destacan la resistencia a flexión y compresión, resistencia a la adherencia por tracción perpendicular, durabilidad y la eflorescencia [19, 32].

La resistencia a compresión a los 28 días se utiliza habitualmente como criterio principal para seleccionar el tipo de mortero, debido a que es relativamente fácil de medir y usualmente se relaciona con otras propiedades como la adherencia y absorción del mortero.

Esta propiedad es determinada por la NC 173 [32]. La Tabla 1.5, presenta los tipos de morteros en función de la resistencia a la compresión y la adherencia a los 28 días. Esta tabla es una fracción de la Tabla 1 de la NC 175.

Tabla 4: Propiedades mecánicas de los morteros de albañilería [32]

Tipos de morteros	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)	Adherencia a los 28 días (MPa)
I	2,4	0,15 ± 0,05
II	3,5	0,25 ± 0,05
III	5,2	0,40 ± 0,05
IV	8,9	0,50 ± 0,05
V	12,4	0,65 ± 0,05

La NC 175 recomienda los morteros tipo I y II para fines no estructurales, y para fines estructurales los restantes [32]. La norma americana ASTM C270 establece una forma diferente de clasificación para los morteros de albañilería en función de los tipos de uso que se requieran. La Tabla 5 se elaboró a partir de las tablas X1.1 y 2 de la ASTM C270 [34].

Tabla 5: Tipos de morteros en función del uso. Especificaciones de propiedades [34]

Tipo de mortero	Uso	Resistencia media a la compresión a los 28 días (MPa)	Retención de agua mínima (%)	Contenido de aire mínimo (%)	
Mortero de cemento	M	Mampostería sujeta a elevadas cargas a compresión, severa acción de las heladas, elevadas cargas laterales originadas por presiones de tierra, viento de huracanes o sismos.	17,23	75	12
	S	Estructuras que requieran alta resistencia a la adherencia por flexión.	12,41	75	12
	N	Uso general de la mampostería. Construcción de sótanos residenciales. Paredes interiores y particiones. Mampostería para enchapes y particiones no estructurales.	5,17	75	14
	O	Muros no portantes y tabiques divisorios. Mampostería para la retención de suelos con resistencia a la compresión efectiva que no exceda los 0,68 MPa (100 psi).	2,41	75	14

La norma ASTM C270 [41] establece además en la tabla X1.1 una guía para la selección de los morteros para la mampostería. De forma general, el mortero tipo "O" no puede ser utilizado para muros portantes, mientras que el tipo "N" no puede ser utilizado como parte de sistemas resistentes contra cargas laterales [19].

La adherencia es posiblemente la propiedad más importante del mortero en estado endurecido. Se considera como la capacidad o propiedad de la capa de mortero de permanecer fija al sustrato después de haber endurecido. La adherencia depende directamente de las características del mortero, del sustrato, la técnica de aplicación y las condiciones climáticas. El mecanismo de adherencia del mortero depende de la ocurrencia, en la etapa plástica, de la penetración de la mezcla por capilaridad dentro de las cavidades de la superficie absorbente del sustrato [35]. La adherencia se determina de acuerdo a lo establecido en NC 172 [32].

Como parte de las características del mortero que influyen en la adherencia se encuentran la proporción de los materiales, la granulometría, reología y la presencia de aditivos. En el caso del sustrato, las variables que afectan directamente la adherencia son la capilaridad, la absorción y la rugosidad de la superficie. En el proceso de aplicación del mortero, el tratamiento de la superficie, la energía de aplicación, la calidad de la mezcla, el tipo de aplicación y el proceso de curado, constituyen factores de incidencia directa en la propiedad analizada. Con respecto a las condiciones climáticas, el mortero puede estar sometido a cambios de temperatura, humedad relativa del aire y el viento [32, 35-37].

En la Tabla 6 se presenta un resumen de la resistencia mínima a compresión del mortero, para muros portantes, a partir de las normativas consultadas.

Tabla 6: Tabla resumen. Resistencia a compresión mínima del mortero estructural según normativas consultadas

Norma	Resistencia mínima a compresión (MPa)
NC 175, 2002 [32]	5,20
IBC, 2018 [2]	5,17
NEC-SE-MP, 2014 [6]	5,17
RNC-MP-001, 2017 [5]	5,70
UBC, 1997 [31]	6,20

2.3. Hormigón fluido o grout

El macizado de la mampostería se realiza por medio del llenado de los huecos de las unidades con lo que se denomina usualmente como hormigón fluido o grout.

La norma de mampostería de Nicaragua define el grout como una mezcla de alta fluidez compuesta de materiales cementantes, agregados y agua, colocado dentro de los huecos de la mampostería. Especifica además, que la principal función del grout es lograr que el refuerzo insertado en los huecos trabaje de manera monolítica con la mampostería [5].

La norma cubana NC 774 [3], denomina al grout como "hormigón de relleno" y expone que este debe cumplir con lo establecido en la norma de especificaciones del hormigón hidráulico, NC 120 [3]. En el apartado 5.3.2 de esta norma, se definen especificaciones en cuanto a la resistencia característica a compresión mínima, el tamaño máximo del árido, asentamiento y el uso de aditivos.

En el caso de la resistencia a compresión mínima del grout, las normativas [2, 4, 5, 38, 39] establecen el valor de 13,7 MPa. Sin embargo, la norma australiana AS-3700 especifica que la resistencia característica del grout debe ser igual o mayor que la resistencia a compresión de la mampostería. Por su parte, ASTM C476, detalla que la resistencia del hormigón fluido no debe ser menor que las de las unidades de hormigón de la mampostería. Por otro lado, la norma cubana NC 774 precisa que la resistencia característica a compresión mínima debe ser de 15 MPa si no va reforzado y de 20 MPa si es reforzado.

La norma europea [18] divide el grout en cinco clases en función de las resistencias características a compresión (f_{ck}) y a cortante (f_{cvk}), las cuales son medidas a los 28 días a través de ensayos a compresión de probetas cilíndricas o cúbicas. Se establece, además que la clase del grout no debe ser menor de la denominada C12/15 (Tabla 7); siendo para esta clase la resistencia mínima a compresión de 12 MPa y a cortante de 0,27 MPa.

Tabla 7: Clasificación de los hormigones fluidos según [18]

Clase	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30 o mayor
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25
f_{cvk} (MPa)	0,27	0,33	0,39	0,45

El reglamento argentino [30] establece como resistencia mínima del hormigón de relleno, la resistencia del muro, no obstante, establece un valor máximo de resistencia del grout de 34 MPa. En el caso del diseño, recomienda adoptar como resistencia del grout, la misma que la del muro de mampostería. En la Tabla 8 se presenta un resumen de la resistencia mínima del grout según las normativas consultadas.

Tabla 8: Tabla resumen. Resistencia a compresión mínima del hormigón de relleno según las normas consultadas

Norma	Resistencia mínima a compresión (MPa)
NC-774, 2012 [3]	15,0 (no reforzado) 20,0 (reforzado)
ASTM-C476, 2010 [39]	13,7
AS 3700,2017 [1]	f'_m
CIRSOC-501, 2007 [30]	$f'_m \leq f'_{cr} \leq 34$
EN-1996-1-1, 2005 [18]	12,0
IBC, 2018 [2]	13,7
NTP E.070, 2006 [4]	13,7
NEC-SE-MP, 2014 [6]	$1,2f'_m \leq f'_{cr} \leq 1,5f'_m$ $f'_{cr} \geq 10$
RNC-MP-001, 2017 [5]	13,7
UBC, 1997 [31]	13,8

Donde:

f'_{cr} : Resistencia a compresión del hormigón de relleno o grout.

f'_m : Resistencia a compresión de la mampostería.

3. Ensayo a compresión uniaxial. Especificaciones

La resistencia a la compresión de la mampostería usualmente se determina por medio del ensayo a compresión de prismas, estandarizado en el ámbito internacional (Figura 1a). El ACI 530 define a los prismas como una construcción de unidades de mampostería y mortero, rellenos con hormigón o sin relleno, que se utilizan como espécimen de ensayo para determinar las propiedades de la mampostería [38].

Para la elaboración de los prismas varias normas como la NTC-3495 [40], ASTM-C1314 [41], y NTP-399.605 [42] proponen las formas más usuales (Figura 3).

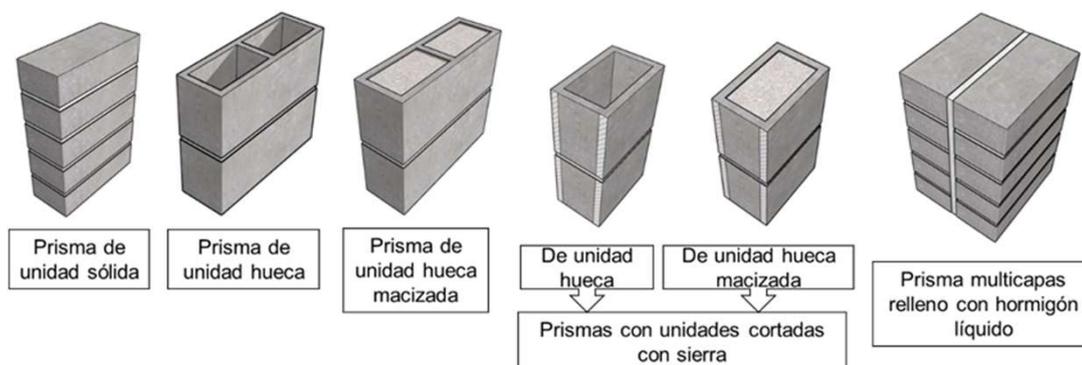


Figura 3: Formas de elaborar los prismas

Además de las formas de elaboración de prismas representadas en la figura anterior, algunos autores utilizan el llamado prisma de enlace continuo (running bond prism) [12, 43]. A diferencia del prisma convencional, este presenta juntas verticales, manteniendo como ancho del prisma, el ancho de un bloque (Figura4).



Figura 4: Prisma de enlace continuo [12]

El ensayo a compresión se lleva a cabo en una máquina universal de compresión, aplicando un ritmo de carga controlado, hasta que el espécimen no admite más carga. Básicamente, el resultado del ensayo se obtiene al dividir la carga entre el área del testigo. Para el caso de prismas de unidades sólidas, se utiliza el área bruta; mientras que para unidades huecas, el área neta [24]. Según Amrhei y Porter [19] el ensayo a compresión es principalmente usado cuando la resistencia de diseño especificada f_m' se requiere que sea mayor que 10,34 MPa para la mampostería de unidades de hormigón, o 17,92 MPa para la de ladrillos.

Uso del ensayo en investigaciones

El ensayo a compresión es muy utilizado por los investigadores para evaluar la principal propiedad de la mampostería, la resistencia a la compresión. Los resultados de estos ensayos usualmente se emplean para estimar la resistencia del muro de mampostería real, a partir del tipo de bloque y mortero. Por ejemplo, en el artículo [11], los investigadores llevan a cabo un programa de ensayo con el objetivo de determinar la relación de resistencia a compresión entre los bloques, prismas y muros de bloques, utilizando bloques de hormigón de alta resistencia. Entre los resultados obtenidos, muestran que, para propósitos de diseño, la relación de resistencia a compresión muro/prisma es de 0,7. Por otra parte, en el artículo presentado por J. S. Camacho et al. [44], los investigadores evalúan la influencia, en la resistencia a compresión del prisma, del empleo de diferentes tipos de grout y diferentes por cientos de refuerzo. Similar al artículo anterior, R. O. Guedes et al. evalúan la influencia de las propiedades de los bloques de hormigón y el grout en la resistencia a compresión, rigidez y mecanismo de fallo del prisma [45].

Otra aplicación directa de los resultados del ensayo a compresión de prismas es para evaluar la idoneidad de las unidades de mampostería y el mortero, para la construcción de muros portantes. Un ejemplo de esto lo constituye el trabajo de Delgado, Álvarez, Molina y Peralta [46], en el cual se evalúa la viabilidad del empleo de piezas de cerámica recocida, para su utilización en la edificación de viviendas de una región específica. Para ello los autores realizan ensayos a compresión de prismas, estudiando su comportamiento y propiedades. Por otra parte, Jiménez y Beltrán [47] en Costa Rica, a partir de una extensa base de datos, de ensayos a compresión de prismas y bloques de hormigón, examinan la resistencia de los bloques de producción nacional para verificar su cumplimiento según la normativa actual de ese país. Los autores llegan a la conclusión de que el 90 % de los bloques de producción nacional presentan una resistencia a compresión superior a los 10 MPa (medida sobre el área neta).

En la actualidad se evalúa la resistencia a la compresión de la mampostería de numerosas estructuras de carácter histórico y patrimonial, siendo el principal ensayo, el de compresión uniaxial. Para ello se pueden emplear técnicas no destructivas, mínimamente destructivas o destructivas [48]. El ensayo a compresión es ampliamente utilizado por los investigadores para estudiar el comportamiento de los muros de estructuras existentes. En el artículo [49], los autores evalúan la resistencia a compresión de construcciones históricas, particularmente museos, por medio de ensayos no destructivos. Como parte del estudio realizan el ensayo a compresión de 44 especímenes. Otro ejemplo lo demuestra la investigación experimental llevada a cabo por Luso y Lourenco [50], en el cual ensayaron a compresión muestras de muretes de mampostería de piedras naturales simulando construcciones del norte de Portugal. Los muretes fueron ensayados sin inyectar e inyectados con hormigón fluido, para estudiar su comportamiento y comparar ambos, llegando a evidenciar el incremento de la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad del muro de piedra, por la inyección del grout, en tres y cinco veces su valor nominal, respectivamente.

Se evidencian, además, investigaciones para determinar la resistencia a compresión y forma de fallo de la mampostería en combinación con otros materiales. R. A. Oliveira et al., en su estudio [51], ensayan prismas con varios tipos de revestimientos, como malla electrosoldada, malla galvanizada, reforzados con malla electrosoldada y galvanizada con conectores, y reforzados con malla electrosoldada y con malla galvanizada. Obtienen resultados que demuestran el incremento en la resistencia del prisma al revestirlo y/o reforzarlo con los diferentes tipos de mallas y revestimientos.

En la actualidad es común utilizar una cantidad mínima de ensayos a compresión uniaxial para implementar modelos numéricos con el fin de estudiar detalladamente el comportamiento de los materiales involucrados en la mampostería, así como el comportamiento en la interface de estos [52-54]. Los ensayos experimentales se utilizan para calibrar y validar el modelo numérico [55]. Posteriormente, con un modelo calibrado y validado, se puede realizar un estudio paramétrico del comportamiento, variando características como, por ejemplo, el espesor de la junta de mortero, el espesor de las paredes del bloque, las propiedades físico-mecánicas de los materiales constituyentes, entre otros [56]. Los modelos numéricos validados a partir de ensayos experimentales permiten predecir el mecanismo de fallo del prisma.

3.1. Construcción del prisma

Los prismas se construyen, en caso de investigación, de acuerdo a los objetivos del programa de ensayos; y si son para control de obra, con la unidad, mortero y características de los que se utilizarán en obra, como son el espesor de la junta, la técnica constructiva, consistencia y tipo de mortero, contenido de humedad y la mano de obra representativa. Los prismas construidos deben ser protegidos y durante su transporte evitar caídas y golpes [5, 6, 24]. Según la literatura consultada, se establece una muestra mínima de tres prismas para cada combinación de materiales y edad de ensayo a la cual se requiere determinar la resistencia a compresión [31, 40-42]. Sin embargo, la norma de Nicaragua RNC-MP-001 establece un mínimo de cinco probetas [5]. Por otra parte, si los bloques tienen pestañas, estrías o nervaduras que se proyectan 12,5 mm o más de la superficie de la unidad, se deben de remover dichos salientes utilizando una sierra [31, 40-42].

Dimensiones

La esbeltez está definida como la relación entre la altura y el espesor del prisma e influye directamente en la resistencia a la compresión del prisma [57]. La altura mínima de los prismas debe ser de 2 unidades con una relación altura-esbeltez entre 1,3 y 5 [19, 40-42, 58]. Sin embargo, en el libro [24], los autores definen igual rango de esbeltez, pero altura mínima de 30 cm. Por otra parte, la altura mínima establecida por la norma de mampostería de Nicaragua RNC-MP-001 es de tres hiladas de unidades de mampostería y el rango de esbeltez del prisma es de 2 a 5 [5]. La norma [6] por su parte coincide en tres unidades de altura mínima, sin embargo, establece que la esbeltez debe ser mayor que 3. En cuanto al espesor del prisma, este debe ser igual al espesor de los muros de la estructura [5, 6].

La longitud del prisma puede ser menor a la longitud de la unidad, con una longitud mínima de 100 mm [41]. Cualquier corte requerido se debe realizar a las unidades, previo a la construcción del prisma [31, 40-42]. Los especímenes de unidades reducidas pueden ser necesitados para el ensayo de unidades de alta resistencia. También, los prismas de longitud reducida son más fáciles de manipular y transportar [19]. En la Figura 5 se representa la forma de realizar los cortes cuando se requieren prismas de longitud reducida.

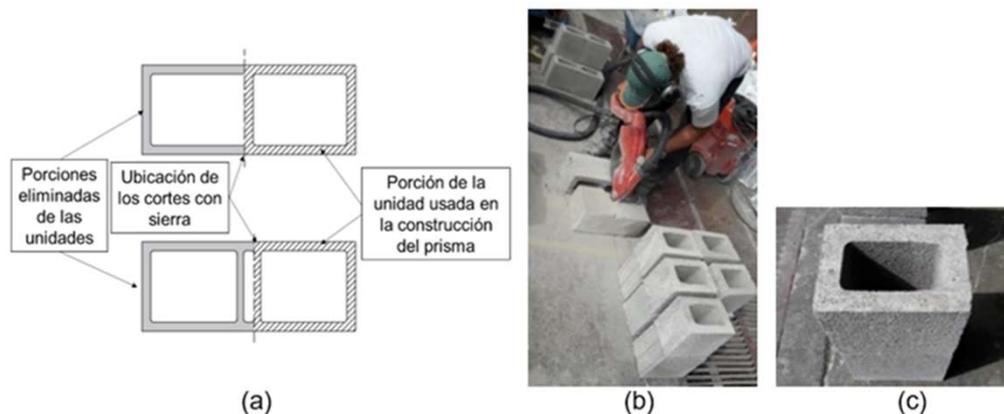


Figura 5: Corte de unidades huecas para la construcción de prismas de longitud reducida. (a) Esquema de corte. (b) Corte con sierra de las unidades [59]. (c) Unidad de longitud reducida [59]

Macizado

Cuando los prismas son fabricados para el control de calidad de estructuras, se deben construir prismas al mismo tiempo que se comienza a construir la mampostería en la obra. El macizado se debe realizar al mismo tiempo que se realiza en la obra. La calidad y propiedades del macizado debe ser representativa de la que se utilizará en obra. Si los prismas serán utilizados con otros propósitos, entonces el macizado se debe realizar entre 4 horas y 48 horas después de la construcción del prisma [41, 42]. Sin embargo, la norma [40] establece un rango de 24 horas a 48 horas después de construido el prisma.

Juntas

El mortero de las juntas del prisma debe ser plano, cubrir completamente el área neta del prisma y debe estar acabado a ras con la superficie de las paredes y tabiques de las unidades [31, 40-42]. Según la norma cubana NC 774 el espesor de las juntas horizontales y verticales de mortero no debe ser menor de 7 mm ni mayor que 13 mm [3].

Almacenamiento y curado

Cada prisma se construye en una bolsa abierta con humedad adecuada, la cual se cierra inmediatamente después de la construcción del prisma para mantener la humedad en este (Figura 6). Los prismas se mantienen almacenados dentro de bolsas impermeables en un área con una temperatura de $240C \pm 80C$. Dos días antes del ensayo, los prismas deben removerse de las bolsas y se mantienen almacenados a la misma temperatura. La edad del prisma se define como el tiempo desde la apilación de las unidades, para prismas huecos, y desde el macizado para prismas rellenos [31, 40-42]. Sin embargo, las normas [5, 6] especifican que los prismas contruidos en laboratorios se deben almacenar cubriéndolos con polietileno y no serán movidos hasta pasado 14 días de su elaboración. Además, se plantea en estas normativas, que durante las últimas semanas se deben mantener descubiertos bajo las condiciones ambientales del laboratorio. Por otra parte, se precisa que los prismas deben ser ensayados a una edad de 28 días, considerada la edad de referencia.



Figura 6: Construcción y almacenamiento del prisma [59]

3.2.1. Instrumentación

Dispositivos de medición

Usualmente el desplazamiento se mide por medio de defómetros, colocados en el sentido longitudinal del prisma, en cada una de las caras. La precisión de los defómetros debe ser de al menos 0,02 mm y deben colocarse de forma tal que midan el desplazamiento relativo entre los extremos superior e inferior, a lo largo de la longitud del prisma [5, 60]. A partir del esquema de instrumentación propuesto en la norma [5], en el Anexo A, y de la instrumentación utilizada por Sánchez [59] en sus ensayos, se elaboró la Figura 7. El marco de sujeción del dispositivo de medición de la deformación, se fija al prisma por medio de los tornillos que se visualizan en la figura. El defómetro mide el desplazamiento relativo entre el marco de sujeción superior e inferior.

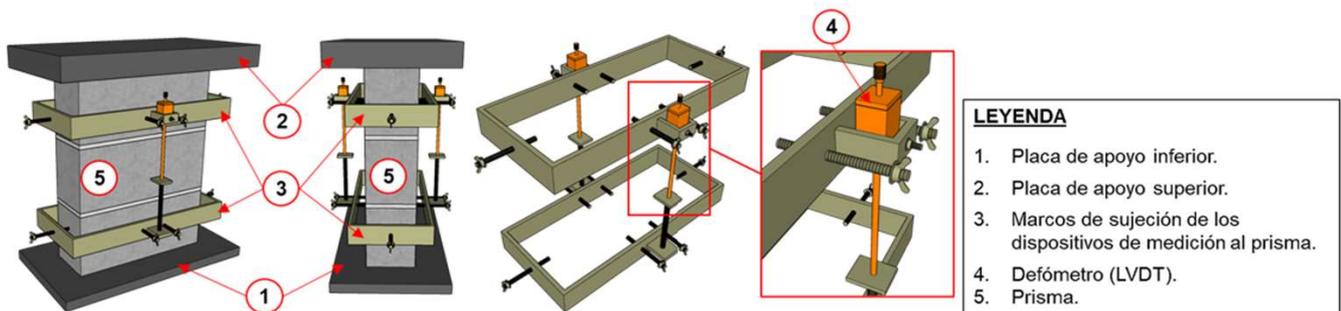


Figura 7: Instrumentación del prisma para la medición de la deformación.

Equipo de aplicación de la carga

El ensayo se lleva a cabo en una máquina universal de compresión. Un ejemplo de este tipo de equipos son los empleados por D. F. Leal et. al [61] en sus ensayos experimentales. Los investigadores utilizaron la Instron 300 HVL y la Instron 8506 para ensayar prismas y muretes, respectivamente. En la Figura 8 se aprecian ambas máquinas y un detalle de la placa de distribución de carga de la primera de ellas.

La norma mexicana de mampostería establece que la máquina de ensayos debe tener la capacidad de carga suficiente, así como la velocidad de carga especificada, sin producir impactos ni pérdida de carga [60]. Según lo establecido en la norma ASTM C1314-14 [41], el equipo de aplicación de la carga debe tener una precisión de $\pm 1\%$ por encima del rango de carga anticipado. El bloque superior de transferencia de carga debe estar apoyado sobre una esfera y debe estar firmemente unido a la cabeza superior de la máquina. El centro de la esfera debe coincidir con el centro de la superficie que se apoya sobre su asiento esférico, pero debe tener libertad de girar en cualquier dirección, y su perímetro debe tener una holgura mínima de 6 mm contra la cabeza de la máquina, con el fin de poder acomodar especímenes cuyas superficies de apoyo no sean paralelas [41] (Figura 9).

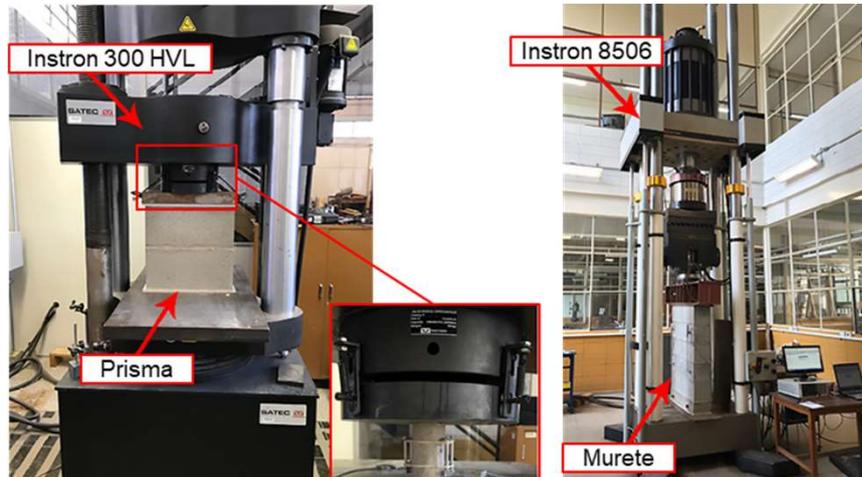


Figura 8: Máquina universal de compresión [61].

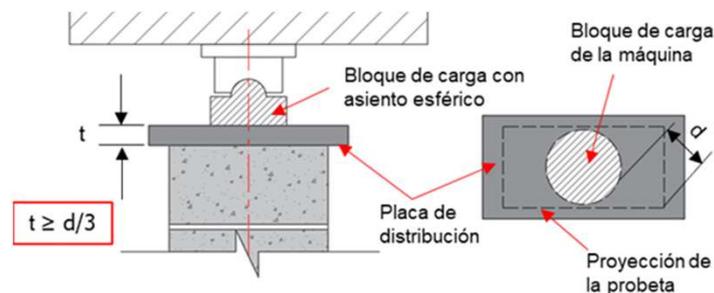


Figura 9: Esquema de placas de distribución y bloque de carga.

3.3. Preparación del ensayo

Previo a la ejecución del ensayo es imprescindible llevar a cabo las actividades correspondientes a la medición de las dimensiones del prisma, el refrentado y la preparación de la superficie; para finalmente colocar el prisma en el equipo de aplicación de la carga. La literatura consultada establece especificaciones para cada una de estas actividades.

Toma de medidas del prisma

Como parte de la preparación del ensayo se lleva a cabo la toma de medidas del prisma. Todas las mediciones realizadas deben tener una aproximación de 1 mm como mínimo. En el caso de la longitud y el ancho, se deben promediar las mediciones tomadas a cada una de las aristas de las caras superior e inferior (Figura 10a). En el caso de la altura, las medidas se efectúan en el centro de cada cara del prisma (Figura 10b) [40-42].

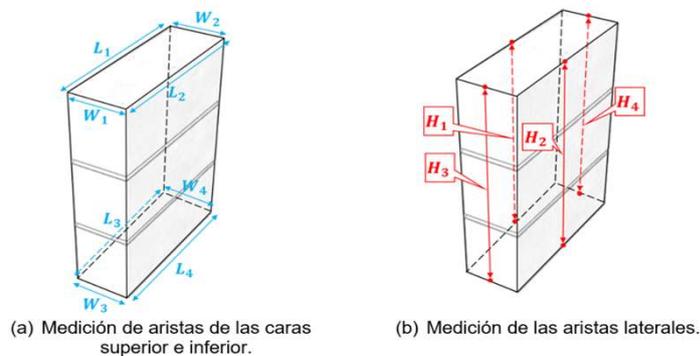


Figura 10: Medidas del prisma.

Refrentado del prisma

A partir de las normativas consultadas [40-42] se establecen los criterios fundamentales para la realización del refrentado. Este debe aplicarse a las superficies superior e inferior, las cuales estarán en contacto con la aplicación de la carga. El material utilizado para el refrentado debe ser distribuido sobre la superficie con una tolerancia de 0,2 mm en 1 m (Figura 11). Por otra parte, el espesor promedio del refrentado no debe exceder de 3 mm. Además, el refrentado debe de hacerse, por lo menos, dos horas antes del ensayo. Sin embargo, para los dos últimos criterios mencionados (espesor y edad del refrentado), la norma [6] establece como espesor máximo 3,5 mm y como edad mínima 24 horas antes del ensayo.

Como material de refrentado la literatura [4, 5] propone el azufre o yeso-cemento, para facilitar la distribución uniforme de la carga. Por otra parte, la norma [6] especifica que el prisma debe ser refrentado en sus extremos con una pasta de yeso cuya resistencia debe ser de 35 MPa en el momento del ensayo.



Figura 11: Refrentado de la cara superior del prisma [16]

Preparación de la superficie

Limpiar adecuadamente las caras de soporte de los bloques de transferencia de carga, de las placas de soporte y del prisma. Se deben pulir las irregularidades de las superficies portantes del prisma, usando un método que no altere la integridad del mismo [40-42].

Colocación en la máquina de ensayo

La muestra a ensayar se debe colocar sobre el bloque o placa de soporte inferior. Se debe alinear el eje del centroide del espécimen con el eje de aplicación de carga de la máquina. A medida que el bloque o placa superior, apoyada sobre una esfera, se va asentando sobre el espécimen, se debe rotar ligeramente la porción móvil del bloque superior, manualmente, con el fin de lograr que se asiente uniformemente [40-42].

3.4. Protocolo de carga

Según las normas [31, 40-42] se establece que la primera mitad de la carga de fallo esperada debe aplicarse a una velocidad adecuada, el resto de la carga se debe aplicar, a una velocidad uniforme, durante un período de no menos de 1 min y de no más de 2 min.

4. Resultados

La ASTM C1314-14 [41] especifica que es importante describir el modo de fallo del prisma tan claramente como sea posible. El adecuado registro del experimento permite establecer una base de datos, muy apropiada para desarrollar estudios posteriores. Por tal razón, es imprescindible dominar el mecanismo de fallo común de los prismas con la finalidad de realizar una correcta descripción de la falla, así como para verificar la calidad del procedimiento del ensayo.

4.1. Mecanismo de fallo

El modo de falla de la mampostería a compresión es usualmente aquel en el que se propaga una grieta de tracción a través de las unidades y el mortero, en la dirección de aplicación de la carga (Figura 12) [25, 62]. Esta grieta es causada por tensiones de tracción secundarias, resultantes de la deformación restringida del mortero en las juntas entre las unidades de mampostería. Los esfuerzos de tracción inducen la grieta y son desarrollados en las interfaces mortero-unidad [25]. El fallo puede originarse también, por un tipo de fallo por cortante a lo largo de ciertas líneas de debilidad de la mampostería. El modo de fallo, depende de si el mortero es débil o fuerte en relación con las unidades [62].

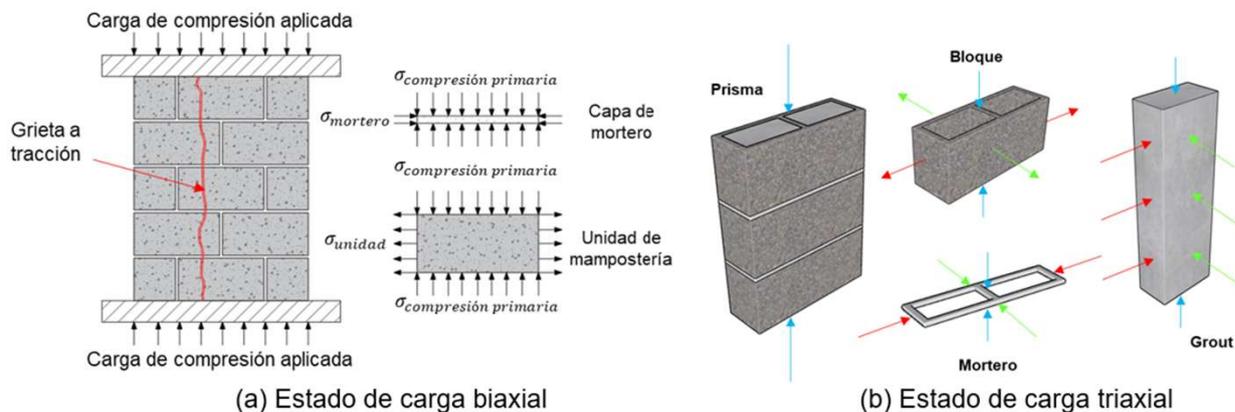


Figura 12: Modo de falla típico de la mampostería a compresión.

Estudios indican que el modo de fallo de la mampostería ocurre bajo un estado de carga biaxial de tensión de tracción-compresión [54]. En la Figura 12 se aprecia el estado de carga descrito para el bloque, mortero y el hormigón de relleno o grout (en caso de estar macizado el prisma).

La mampostería tiene un comportamiento no lineal [63]. La no linealidad de la relación tensión-deformación corresponde a un gran incremento en la deformación lateral, el cual está asociado a las microfisuras del hormigón [9, 64, 65]. Para mampostería con morteros débiles el comportamiento no lineal de la esta comienza en una significativa menor relación tensión/resistencia que para la mampostería construida con morteros de alta resistencia debido a la propagación de la grieta o por el colapso de los poros del mortero. Por ello, el mecanismo de falla de la mampostería inicia al comienzo del comportamiento no lineal [66].

B. Hunt [67] en su trabajo refiere, que los prismas de bloques ensayados bajo carga de compresión evidencian una resistencia a compresión menor que la resistencia del bloque y a su vez, mayor que la del mortero. Especifica que esto se debe al estado de tensiones tridimensional generado en el prisma. El bloque, el mortero y el grout, tienen diferentes coeficientes de Poisson. Los bloques tienden a poseer un coeficiente de Poisson menor que el del mortero o grout. Esta diferencia en los coeficientes resulta en que cada material se expande lateralmente en un ritmo diferente en función de cómo son deformados en la dirección vertical. Estas diferencias en el ritmo de expansión lateral inducen tensiones laterales en los materiales, puesto que estos están interconectados. Debido a que el mortero presenta mayor coeficiente de Poisson que el bloque, este se expandirá lateralmente de una forma más rápida causando que el mortero, confinado en las direcciones laterales, presente un estado tensional de compresión triaxial (Figura 13b). De igual forma ocurre con el grout, al estar restringido lateralmente por las paredes de los bloques (Figura 13c).

El mortero gobierna el proceso de fallo de la mampostería. Para prismas de mampostería construidos con morteros de alta resistencia, con el incremento de la carga, los componentes comienzan a actuar como un material homogéneo, y la principal causa del fallo es la fractura por tensión en el bloque, la cual, propagada a través de la junta de mortero, produce una fractura localizada en el contacto bloque-mortero. En el caso de los prismas con morteros débiles, la falla comienza con el aplastamiento del mortero, el cual causa tensiones de tracción localizadas en el bloque. Estas observaciones permiten afirmar que la interacción mortero-bloque es responsable del fallo de la mampostería [66, 68].

En el caso de los ensayos a prismas de bloques macizados, se aprecia que el fallo ocurre en el bloque debido al agrietamiento vertical de sus caras, continua con el desprendimiento de estas y concluye con el aplastamiento del hormigón de relleno. Este agrietamiento vertical es atribuible a la tracción lateral introducida en el bloque, ya no solamente por el mortero, sino, principalmente por el hormigón de relleno, el cual tiene mayor deformación lateral que la unidad [24].

Las normas ASTM C1314-14 [41] y NMX-C-464-ONNCCE [60] presentan una guía gráfica de los tipos de fallos más comunes. En la Figura 13 se representan los sugeridos por la norma mexicana, mientras que en la Figura 14 se muestran tipos de fallos en prismas obtenidos por algunos investigadores.

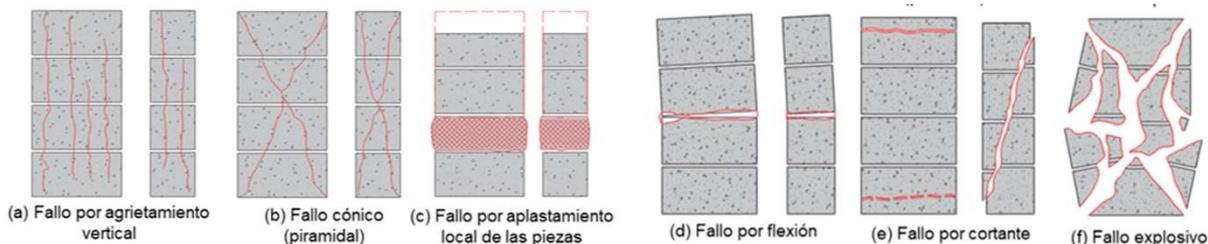


Figura 13: Formas de fallo según NMX-C-464-ONNCCE [60]



Figura 14: Tipos de fallos en prismas. (a) Fallo de prismas de bloques de alta resistencia. De izquierda a derecha: prisma sin macizar y prisma macizado [11]. (b) Grietas verticales [54]. (c) Fallo por desprendimiento de la cara lateral [47]

Prismas de enlace continuo (running bond prisms)

La construcción de prismas de enlace continuo (running bond prisms) puede introducir juntas en el espécimen, formando un plano vertical de debilidad, provocando que la grieta aparezca a una resistencia a compresión menor que la real. El comportamiento dista del real, puesto que, en un muro real, las unidades de mampostería están confinadas por toda la pared y el efecto de las juntas verticales es significativamente disminuido. Por otra parte, la utilización de especímenes de este tipo, con altura pequeña, no representan la distribución de carga del muro [19]. La Figura 15 ilustra lo explicado, representando algunos de los patrones de grietas que se originan en este tipo de prismas.

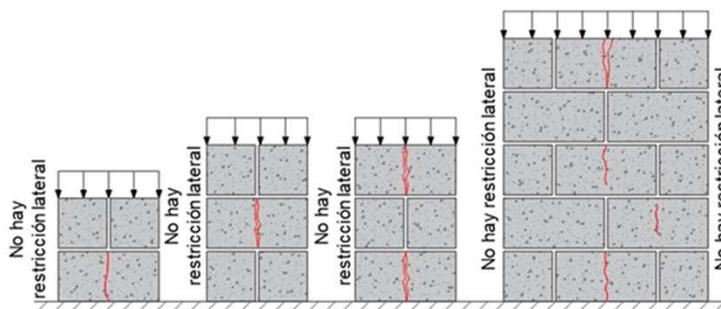


Figura 15: Prismas de enlace continuo no restringidos lateralmente. Patrones de grietas

En su estudio [12], los autores ensayan especímenes de este tipo de prisma, con unidades de bloques huecos y macizados. Se aprecia en la Figura 16a que el fallo se corresponde con el tipo de fallo mencionado anteriormente; sin embargo, la forma de fallo cambia cuando se trata de bloques macizados (Figura 16b), evidenciándose que el fallo ocurre en el bloque.



(a) Prismas de bloques huecos. Fallo por compresión.



(b) Prismas de bloques macizados. Fallo por compresión.

Figura 16: Fallo por compresión de prismas de enlace continuo [12]

4.2. Determinación de la resistencia a compresión

W. M. C. McKenzie define en su libro [25] que la resistencia a la compresión de la mampostería depende de numerosos factores como la resistencia del mortero, la resistencia de la unidad, la relación entre los valores de resistencia de la unidad y el mortero, la esbeltez de las unidades, la orientación de las unidades en relación a la dirección de aplicación de las cargas y el espesor de la junta de mortero.

Los autores Hendry, Sinha, y Davies [62] por su parte, dividen los factores que afectan la resistencia a la compresión de la mampostería en tres grupos: características de la unidad, características del mortero y características de la mampostería. En el primer grupo define la resistencia de la unidad, geometría de la unidad (sólido, perforado, ahuecado), esbeltez y características de absorción. En el segundo grupo: resistencia del mortero, dosificación utilizada, relación agua/cemento, retención de agua y deformación característica relativa a la unidad. En el último grupo define tres factores: adherencia, dirección de las solicitaciones y aparición de tensiones locales.

La resistencia a compresión del prisma es determinada, de forma general, según las normas consultadas, dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen entre el área neta correspondiente, la misma se expresa con una exactitud de 0,1 MPa. El área transversal neta de los prismas no macizados, se determina a partir del área transversal neta de la unidad empleada y en el caso de los prismas macizados se determina multiplicando la longitud por el espesor espécimen. El valor de la resistencia del prisma se afecta por el factor de corrección de esbeltez en función de la relación entre la altura y el espesor del espécimen. En la Tabla 9 se presentan las expresiones utilizadas por las normas consultadas para determinar la resistencia a compresión del prisma y de la mampostería.

Tabla 9: Determinación de la resistencia a compresión del prisma y la resistencia característica de la mampostería para ensayos en prismas de mampostería.

No.	Resistencia a compresión del prisma (MPa)	Resistencia característica a compresión de la mampostería (MPa)	Referencia
(1)	$f'm = \frac{Pu}{An} * C$	$\overline{f'm}$	(ASTM-C1314, 2014; NTC-3495, 2003; NTP-399.605, 2013; UBC, 1997) [31, 40-42]
(2)	$fm = \frac{P}{t * b} * C$	$f^*m = \frac{\overline{fm}}{1 + 2.5Cm}$	(NMX-C-464-ONNCCE, 2010) [60]
(3)	$f'm = \frac{Pu}{An} * C$	$f'm = \bar{x} - 0.431(x_5 - x_1)$	(RNC-MP-001, 2017) [5]
(4)	$f'm = \frac{Pu}{An}$	$f'm = \alpha C(X - m\sigma)$	(Gallegos & Casabonne, 2005) [24]
(5)	$fm = \frac{P}{t * b} C$	$\overline{f'm} - \sigma$	(NTP-E.070, 2006) [4]

En estas expresiones P_u corresponde a la carga máxima que soporta el prisma, A_n el área neta de la sección transversal del bloque, $\overline{f'm}$ es la resistencia a compresión promedio de la muestra, t es el espesor de la unidad, Cm es el coeficiente de variación en función del control de la calidad ($Cm \geq 0,1$ y otros casos $Cm \geq 0,15$), \bar{x} es la resistencia promedio a la compresión de los cinco prismas (en el epígrafe 3.1 se planteó que la RNC-MP-001 establece un mínimo de 5 prismas), x_5 y x_1 corresponden al mayor y menor valor de la resistencia de los ensayos. Por otra parte, α es el coeficiente que tiene en cuenta la edad del testigo en el momento del ensayo (α es 1 para testigos ensayados a los 28 días, y 1,1 cuando el ensayo se hace a los 7 días); C es el factor de corrección por esbeltez, X es el promedio de los resultados de las pruebas que, a su vez, consisten de varios ensayos, m es una constante que depende del porcentaje de resultados defectuosos aceptables (generalmente 10%), en ese caso m es igual 1,3, y σ es la desviación estándar de las pruebas.

Las normativas consultadas emplean diferentes coeficientes de corrección de esbeltez (C). Estos se recogen en la Tabla 10. Donde la relación h/b corresponde a la relación altura/espesor del prisma.

Tabla 10. Factor de corrección de esbeltez (C).

Relación h/b del prisma	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5
UBC 1997	0,75	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	-	1,22
Norma NTC 3495 2003	0,75	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	-	1,22
Norma E 0,70 2006	-	-	0,73	0,8	0,91	0,95	0,98	1
Norma NMX-C-464 2010	-	-	0,75	-	0,90	1,00	-	1,05
Norma Peruana NTP-399,65 2014	0,75	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	-	1,22
Norma ASTM C1314-2016	0,75	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	-	1,22
Tabla D,1 de CSA-S304-14	-	-	0,85	-	0,90	0,95	-	1
RNC-MP-001 2017	-	-	0,75	-	0,9	1	-	1,05

5. Conclusiones

La revisión bibliográfica de la literatura referente al ensayo a compresión uniaxial de prismas de mampostería permitió establecer las especificaciones para la construcción del prisma en lo referente a la cantidad de especímenes por muestra, altura y esbeltez, dimensiones del prisma, macizado, juntas, almacenamiento y curado. A partir de esta revisión se recomiendan prismas con altura mínima de 3 unidades de mampostería con una relación altura-esbeltez entre 1.3 y 5. Estos deben poseer la longitud y el espesor de una unidad, deben construirse un mínimo de tres prismas con los mismos materiales y serán ensayados a la misma edad.

En el caso de la instrumentación fue definido que la precisión de los defómetros debe ser de al menos 0,02 mm y estos serán ubicados de forma que puedan medir el desplazamiento relativo entre los extremos superior e inferior del prisma. Para el equipo de aplicación de la carga se presentaron especificaciones para la máquina universal de compresión, destacándose que el bloque de aplicación de carga debe tener un asiento esférico. Fueron detallados los pasos necesarios para la preparación del ensayo en cuanto a la forma de tomar las medidas del prisma, el refrentado para garantizar la distribución uniforme de la carga, la preparación de la superficie y las especificaciones de la colocación de la muestra en la máquina de ensayo. Para la aplicación de la carga se recomienda dividir el ensayo en dos etapas, en la primera etapa aplicar la mitad de la carga total a una velocidad de 1MPa/s. Para la aplicación de la segunda mitad de la carga se recomienda la aplicación de la tasa de carga propuesta por la norma DKS-2802-1, 2019 [26].

Fue identificado que el mecanismo de fallo fundamental de la mampostería a compresión uniaxial es por medio de grietas a tracción verticales en el sentido de aplicación de la carga, producto de la generación de un estado tridimensional de tensiones en los elementos que componen el prisma. Finalmente, se establecieron las diferentes expresiones para determinar la resistencia a compresión del muro de mampostería a partir de los datos obtenidos del ensayo, las cuales dependen del factor de corrección de esbeltez, especificado en cada una de las normas, en función de la relación altura/espesor del prisma.

Referencias Bibliográficas

- [1] AS-3700, "Masonry structures," ed. Australia, 2017.
- [2] IBC, "International Building Code," ed: International Code Council (ICC), 2018.
- [3] NC-774, "Código de buenas prácticas para obras de mampostería (EN 1996-1: 2005, MOD)," ed. Cuba, 2012.
- [4] NTP-E.070, "Albañilería," ed. Perú, 2006.
- [5] RNC-MP-001, "Norma mínima de diseño y construcción de mampostería," ed. Nicaragua, 2017.
- [6] NEC-SE-MP, "Norma Ecuatoriana de la Construcción," ed. Ecuador, 2014.
- [7] W. F. Pons-Gascón and Eduardo Rafael-Álvarez Deulofeu, "Diseño estructural sismorresistente de edificios de viviendas de mampostería reforzada para su construcción en las ciudades de Bayamo y Guantánamo," *Ciencia en su PC*, vol. 1, 2018.
- [8] M. Martínez, S. Atamturktur, B. Ross, and J. Thompson, "Assessing the compressive behavior of dry-stacked concrete masonry with experimentally informed numerical models," *ASCE. Journal of Structural Engineering*, vol. 144, 2018.
- [9] G. Mohamad, P. B. Lourenco, and H. M. Roman, "Study of the compressive strength of concrete block prisms – stack and running bond," *IBRACON Structures and Materials Journal*, vol. 4, pp. 347-358, 2011.
- [10] Vindhyashree, R. Alfa, W. P. Prema Kumar, and M. T. Prathap Kumar, "Numerical Simulation of Masonry Prism Test using ANSYS and ABAQUS," 2015.
- [11] E. S. Fortes, G. A. Parsekian, J. S. Camacho, and F. S. Fonseca, "Compressive strength of masonry constructed with high strength concrete blocks," *IBRACON Structures and Materials Journal*, vol. 10, pp. 1273-1319, 2017.
- [12] E. S. Fortes, G. A. Parsekian, F. S. Fonseca, A.M.ASCE, and J. S. Camacho, "High-strength concrete masonry walls under concentric and eccentric loadings," *Journal of Structural Engineering. ASCE*, 2018.
- [13] P. Foytong, M. Boonpichetvong, N. Areemir, and J. Teerawong, "Effect of brick types on compressive strength of masonry prisms," *International Journal of Technology*, 2016.
- [14] Sandeep, M.-V. Renukadevi, S. Manjunath, and Somanath, "Influence of reinforcement on the behavior of hollow concrete block masonry prism under compression. An experimental and analytical approach," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2013.
- [15] E. S. Fortes, G. A. Parsekian, F. S. Fonseca, and A.M.ASCE, "Relationship between the compressive strength of concrete masonry and the compressive strength of concrete masonry units," *Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE*, 2014.
- [16] M. Mahamid, F.ASCE1, N. Westin, and M.ASCE, "Reevaluation of f'm for the unit-strength method with application to lightweight concrete block masonry and face shell-bedded mortar joints," *Practice Periodical on Structural Design and Construction. ASCE*, 2020.
- [17] R. Capozucca, E. Magagnini, and G. Pace, "Experimental and modelling of masonry walls under diagonal compression loading," presented at the 10th International Masonry Conference, Milan, Italy, 2018.
- [18] EN-1996-1-1, "Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures," ed, 2005.
- [19] J. E. Amrhei and M. L. Porter, *Reinforced masonry engineering handbook. Clay and concrete masonry*, Six ed. Estados Unidos: Masonry Institute of America (MIA), 2009.
- [20] N. Taly, *Design of reinforced masonry structures*, Second ed. Los Ángeles. Estados Unidos: Mc Graw Hill, 2010.
- [21] M. A. González-Montijo, H. Soto-Toro, C. Rivera-Pérez, Silvia, Esteves-Klomsingh, and O. Suárez, "Design and characterization of concrete masonry parts and structural concrete using repurposed plastics as aggregate," *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, vol. 28, pp. 81-88, 2019.
- [22] NC-247, "Bloques huecos de hormigón. Especificaciones," ed. Cuba, 2010.
- [23] ASTM-C1209, "Standard terminology of concrete masonry units and related units," ed. Estados Unidos, 2001.
- [24] H. Gallegos and C. Casabonne, *Albañilería Estructural*, Tercera ed. Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú, 2005.
- [25] W. M. C. McKenzie, *Design of Structural Masonry*. Houndmills, Basingstoke, Hampshire RG21 6XS and 175 Fifth Avenue, New York, N.Y. 10010: PALGRAVE, 2001.
- [26] DKS-2802-1, "Masonry units. Methods of test," ed. Kenya, 2019.

- [27] ASTM-C140, "Standard test methods for sampling and testing concrete masonry units and related units," ed. Estados Unidos, 2018.
- [28] G. A. Parsekian, A. L. Christoforo, A. D. E. Mazzú, and G. M. Dalfré, "Humidity and specimen preparation procedure: influence on compressive strength of concrete blocks," *IBRACON Structures and Materials Journal*, vol. 14, 2021.
- [29] ASTM-C55, "Standard specification for concrete brick," ed. Estados Unidos, 2001.
- [30] CIRSOC-501, "Reglamento argentino de estructuras de mampostería," ed. Argentina, 2007.
- [31] UBC, "Uniform Building Code. ," in *Volume 2*, ed, 1997.
- [32] NC-175, "Morteros de albañilería. Especificaciones," ed. Cuba, 2002.
- [33] NC-170, "Mortero fresco. Determinación de la consistencia en la mesa de sacudidas," ed. Cuba: Oficina Nacional de Normalización (NC), 2002.
- [34] ASTM-C270, "Standard specification for mortar for unit masonry," ed. Estados Unidos, 2014.
- [35] V. N. Pires and O. S. Izquierdo, "Comparative study of the tensile bond strength of rendering mortars in ceramic and concrete structural blocks," *Revista Ingeniería de Construcción (RIC)*, vol. 36, 2021.
- [36] D. Jiao, Caijun Shi, Q. Yuan, X. An, Y. Liu, and H. Li, "Effect of Constituents on Rheological Properties of Fresh Concrete-A Review," *Cement and Concrete Composites*, 2017.
- [37] C. M. Stolz and A. B. Masuero, "Influence of grains distribution on the rheological behavior of mortars," *Construction and Building Materials*, vol. 177, pp. 261-271, 2018.
- [38] ACI-530, "Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures," ed. Estados Unidos: Masonry Standards Joint Committee (MSJC), 2011.
- [39] ASTM-C476, "Standard specification for grout for masonry," ed. Estados Unidos, 2010.
- [40] NTC-3495, "Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería," ed. Colombia, 2003.
- [41] ASTM-C1314-14, "Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms," ed. Estados Unidos, 2016.
- [42] NTP-399.605, "Unidades de Albañilería. Método de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión de prismas de albañilería," ed. Perú, 2013.
- [43] S. R. Sarhat and E. G. Sherwood, "The prediction of compressive strength of ungrouted hollow concrete block masonry," *Construction and Building Materials*, vol. 58, pp. 111-121, 2014.
- [44] J. S. Camacho, B. G. Logullo, G. A. Parsekian, and P. R. N. Soudais, "The influence of grouting and reinforcement ratio in the concrete block masonry compressive behavior," *IBRACON Structures and Materials Journal*, vol. 8, pp. 341-364, 2015.
- [45] R. O. G. Martins, G. H. Nalon, R. d. C. S. S. A. Alvarenga, L. G. Pedroti, and J. C. L. Ribeiro, "Influence of blocks and grout on compressive strength and stiffness of concrete masonry prisms," *Construction and Building Materials*, vol. 182, 2018.
- [46] D. Delgado, E. Álvarez, R. Molina, and F. Peralta, "Compresión de pilas con piezas de cerámica de tabique rojo recocido, con mortero tipo I y II para el municipio de Tecpan de Galeana, Guerrero," *Revista de Ingeniería Civil*, vol. 2, pp. 1-7, 2018.
- [47] A. A. Jiménez and G. G. Beltrán, "Resistencia de bloques y prismas de mampostería de concreto en Costa Rica," *Métodos & materiales*, vol. 5, 2017.
- [48] M. Sýkora, D. Diamantidis, M. Holicky, J. Marková, and Á. Rózsás, "Assessment of compressive strength of historic masonry using non-destructive and destructive techniques," *Construction and Building Materials*, vol. 193, pp. 196-210, 2018.
- [49] M. Mishra, A. S. Bhatia, and D. Maity, "Predicting the compressive strength of unreinforced brick masonry using machine learning techniques validated on a case study of a museum through nondestructive testing," *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 2020.
- [50] E. Luso and P. B. Lourenço, "Mechanical behavior of two-leaf masonry wall-strengthening using different grouts," *ASCE. Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 31, 2019.
- [51] R. A. Oliveira, F. A. N. Silva, C. W. d. A. P. Sobrinho, and A. A. C. d. Azevedo, "Edificações em alvenaria resistente na região metropolitana do Recife," *Ambiente Construído. Porto Alegre*, vol. 17, pp. 175-199, 2017.
- [52] K. F. Abdulla, L. S. Cunningham, and M. Gillie, "Simulating masonry wall behaviour using a simplified micro-model approach," *Engineering Structures*, vol. 151, 2017.

- [53] A.-B. A. E. Mohamad and Z. Chen, "Experimental and Numerical Analysis of the Compressive and Shear Behavior for a New Type of Self-Insulating Concrete Masonry System," *Applied Sciences*, 2016.
- [54] C. F. R. Santos, R. C. S. S. Alvarenga, J. C. L. Ribeiro, L. O. Castro, R. M. Silva, A. A. R. Santos, *et al.*, "Numerical and experimental evaluation of masonry prisms by finite element method," *Revista IBRACON de Estructuras e Materiais*, vol. 10, 2017.
- [55] L. Krishnaraj, R. Niranjana, G. P. Kumar, and R. S. Kumar, "Numerical and experimental investigation on mechanical and thermal behaviour of brick masonry: An efficient consumption of ultrafine fly ash," *Construction and Building Materials*, vol. 253, 2020.
- [56] D. Dönmez, "Study on test set-ups for determining the failure characterisation in masonry components," *Engineering and Computational Mechanics*, vol. 175, pp. 14-28, 2022.
- [57] A. Abasi, R. Hassanli, T. Vincent, and A. Manalo, "Influence of prism geometry on the compressive strength of concrete masonry," *Construction and Building Materials*, 2020.
- [58] S. Rizaee, M. D. Hagel, P. Kaheh, and N. Shrive, "Comparison of compressive strength of concrete block masonry prisms and solid concrete prisms," presented at the 16th International Brick and Block Masonry Conference Padova, Italia, 2016.
- [59] B. N. Sánchez, "Caracterización de la curva esfuerzo-deformación de prismas de mampostería con bloques de concreto de 120 mm y 150 mm de espesor bajo carga axial concéntrica," Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2019.
- [60] NMX-C-464-ONNCCE, "Norma Mexicana. Ensayo de muretes y pilas," ed. México, 2010.
- [61] D. F. Leal, R. H. Dupim, J. M. Neto, and M. R. S. Corrêa, "Experimental investigation on structural concrete masonry in fire: emphasis on the thermal behavior and residual strength," *IBRACON Structures and Materials Journal*, vol. 14, 2021.
- [62] A. W. Hendry, B.P.Sinha, and S.R.Davies, *Design of masonry structures*, Third ed. Taylor & Francis e-Library: E & FN SPON, 2004.
- [63] V. Sarhosis and J. V. Lemos, "A detailed micro-modelling approach for the structural analysis of masonry assemblages," *Computers and Structures*, 2018.
- [64] A. A. Hamid and R. G. Drysdale, "Behavior of concrete block masonry under axial compression," *American Concrete Institute Journal*, vol. 76, pp. 707-721, 1979.
- [65] C. L. Khoo, "A failure criterion for brickwork in axial compression," Doctor of Philosophy, Department of Civil Engineering & Building Science, University of Edinburgh, Scotland, 1972.
- [66] G. Mohamad, F. S. Fonseca, A. T. Vermeltfoort, D. R. W. Martens, and P. B. Lourenço, "Strength, behavior, and failure mode of hollow concrete masonry constructed with mortars of different strengths," *Construction and Building Materials*, vol. 134, pp. 489-496, 2017.
- [67] B. Hunt, "Numerical Modelling of Hollow Concrete Block Masonry Mechanics," Doctor of Philosophy, Faculty of Graduate and Postdoctoral Affairs, Carleton University, Ottawa, Ontario, 2018.
- [68] G. H. Nalon, C. F. R. Santos, L. G. Pedroti, J. C. L. Ribeiro, G. d. S. Veríssimo, and F. A. Ferreira, "Strength and failure mechanisms of masonry prisms under compression, flexure and shear: components' mechanical properties as design constraints," *Journal of Building Engineering*, 2019.