


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

E. F. Hernández^{1*} , E. J. Aguilar Arriola² , H. Martínez³

*Autor de Contacto: eddisson.hernandez@uam.edu.ni

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i3.794>

Recibido: 06/02/2025 | Correcciones recibidas: 07/07/2025 | Aceptado: 13/08/2025 | Publicado: 01/09/2025

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño de bloques de fabricación artesanal y semi-industrial, en prismas y muros, ante esfuerzos verticales y diagonales, necesarios para determinar la vulnerabilidad estructural de edificios ante amenazas sísmicas. Las construcciones con mampostería de bloques de concreto son comúnmente empleadas en la zona del pacífico de Nicaragua, principalmente para el desarrollo de proyectos de vivienda. En el año 2017, el Ministerio de Transporte e Infraestructura publicó la “Norma mínima para diseño y construcción de albañilería MP-001”, como complemento del Reglamento Nacional de la Construcción. Sin embargo, esta norma no tiene en cuenta las características y propiedades de los materiales locales. Se elaboraron prismas y muros con bloques de concreto, y determinaron los tipos de fallas y el desempeño mecánico a edades tardías. Los resultados mostraron una tendencia a fallas por tensión diagonal en muros, con una resistencia promedio (V_m) de 6.7 kg/cm², superior a las mostradas en la literatura.

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

Citar como: Hernández, E. F., Aguilar Arriola, E. J., Martínez, H. (2025), “*Compresión diagonal de mampostería de bloques huecos de concreto, como indicador de vulnerabilidad estructural.*”, Revista ALCONPAT, 15 (3), pp. 335 – 347, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i3.794>

¹ Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Americana, Managua, Nicaragua.

² Investigador independiente, Managua, Nicaragua.

³ Instituto Tecnológico de Pachuca, Pachuca de Soto, México.

Contribución de cada autor

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

Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2025) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2026 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2026.

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

ABSTRACT

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

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

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

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho de blocos artesanais e semi-industrialmente fabricados, em prismas e paredes, sob forças verticais e diagonais, necessárias para determinar a vulnerabilidade estrutural de edifícios a riscos sísmicos. Construções de alvenaria de blocos de concreto são comumente usadas na região do Pacífico da Nicarágua, principalmente para projetos habitacionais. Em 2017, o Ministério dos Transportes e Infraestrutura publicou a "Norma mínima para diseño y construcción de albañilería MP-001" como um complemento ao Reglamento Nacional de la Construcción. No entanto, esta norma não considera as características e propriedades dos materiais locais. Nesta pesquisa prismas e paredes foram construídos com blocos de concreto, e os tipos de falhas e o desempenho mecânico em idades posteriores foram determinados. Os resultados mostraram uma tendência a falhas de tração diagonal em paredes, com uma resistência média (V_m) de $6,7 \text{ kg/cm}^2$, superior às mostradas na literatura.

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

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. +52 1 983 419 8241, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

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

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

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

1. INTRODUCCIÓN

Nicaragua es un país frecuentemente afectado por la ocurrencia de sismos (ya sean de origen tectónico, por subducción o fallamiento superficial), que representan una de las principales amenazas a su territorio. Existen importantes antecedentes de los daños provocados por estos acontecimientos en la región del pacífico del país, como fueron los terremotos de 1968 y 1972 en Managua. Debido a esto, a lo largo de los años, se han realizado esfuerzos por mejorar las normativas y reglamentos de construcción, cambiando los sistemas de mampostería de adobe de esa época, por los de mampostería con bloque de concreto (hoy en día, casi en su totalidad).

Adicional a lo antes mencionado, en el país existe una gran vulnerabilidad estructural de los edificios, especialmente los habitacionales de interés social (Ruíz Valverde y Morales Leiva 2018). La vulnerabilidad estructural se refiere a la susceptibilidad que presenta la estructura frente a posibles daños en aquellas partes del establecimiento que lo mantienen en pie ante un sismo intenso. Esto incluye los cimientos, columnas, muros, vigas y losas (Bonett Díaz 2003).

La vulnerabilidad estructural va más allá de la exposición del edificio a la amenaza sísmica, también puede verse afectado por otros fenómenos naturales, como por ejemplo los huracanes, lluvias, tsunamis, etc., que causan deterioro y reducen la vida de servicio de las estructuras.

En Nicaragua las viviendas de interés social, y las del segmento de clase media, comparten los mismos sistemas y materiales de construcción (mampostería reforzada o mampostería confinada, y bloques de concreto). Managua, la capital, se encuentra amenazada por frecuentes eventos sísmicos que afectan las construcciones hechas de bloques de cemento (Aguilar Arriola 2016). Por lo tanto, resulta importante realizar la evaluación del comportamiento de estos sistemas constructivos por medio de ensayos en prismas o muretes. En el caso de los prismas, los tipos de fallas comunes que pueden presentar son: agrietamiento vertical, falla cónica, aplastamiento de piezas, falla por flexión, falla por cortante, falla explosiva, etc. (NMX-C-464-ONNCCE, 2010). Por otro lado, las fallas típicas de los muretes de mampostería sujetos a compresión diagonal pueden ser de tres tipos: 1) falla por tensión diagonal en bloques, que produce una grieta diagonal que atraviesa las piezas, su trayectoria es aproximadamente recta; 2) falla por tensión diagonal en juntas, que se produce por la falta de adherencia entre el bloque y el mortero. Su trayectoria es en forma escalonada aproximadamente al centro del murete; 3) falla por deslizamiento, que produce la falla entre las piezas y el mortero, ocasionando el desprendimiento de una junta horizontal (Fernández Baqueiro, et al. 2009).

Para sistemas de mampostería es necesario conocer las capacidades y comportamientos de los materiales utilizados como son el concreto (vigas y columnas en mampostería confinada), el bloque hueco a base de mortero de cemento y del mortero de unión o pegamento, para lograr una mayor durabilidad de los edificios. Por durabilidad se refiere a “la habilidad para resistir la acción del tiempo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro” (Hernández, 2017). La resistencia del mortero es muy importante, permite garantizar una correcta fijación de los bloques y una pared bien consolidada. Pueden utilizarse diferentes combinaciones y dosificaciones de mortero para obtener mejores desempeños (resistencia, térmicos, flexibilidad, etc.). Una forma de mejorar las cualidades del mortero es que a medida que se incrementa la presión de moldeo, tanto la densidad como la resistencia a compresión crecen. De acuerdo con la evolución de la resistencia a compresión para niveles de presión de moldeo variable, puede suponerse que, al continuar incrementando la presión, la resistencia continuaría incrementándose. No obstante, se ha verificado que en la práctica existe un límite alrededor de los 0,40 MPa, a partir del cual se produce la pérdida de la lechada de cemento de los aglomerados imposibilitando su elaboración (Argento, et al. 2019). Por otra parte, los bloques y el mortero de pega forman la unidad que es el muro (con o sin aberturas/vanos), que es la esencia del sistema de mampostería. Los bloques elaborados a partir de mortero de cemento permiten muchas alternativas para su mejora, desde la proporción de la mezcla, materiales, aditivos utilizados, etc. Esto es de vital importancia, considerando la demanda de

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

bloques a base de morteros de cemento en la región del Pacífico de Nicaragua, para generar una mayor producción y que es asumida por fábricas de bloques, en su mayoría artesanales, que producen piezas con diferencias en los valores de resistencias a la compresión.

A pesar de que existe una serie de resultados y muestreos sobre la resistencia a la compresión de las unidades de bloques, en Nicaragua no hay datos sobre ensayos en prismas y muretes, debido a que estos fueron normados hasta el año 2017 por el Ministerio de Transporte e Infraestructura, por medio de la Norma Mínima de Diseño y Construcción de Mampostería MP-001(MTI, 2017), que es complementaria al Reglamento Nacional de la Construcción. A la fecha no existe documentación de procesos, ni de resultados al respecto, razón por lo cual, en este trabajo se utilizó como referencia la Norma Mexicana NMX-C-464-ONNCCE (2010) para el ensaye de muretes y pilas. Las experiencias de los ensayos realizados en otros países en prismas y muretes muestran comportamientos característicos. Por ejemplo, el del modo de falla por deslizamiento de la mampostería (debido a una débil adherencia entre el mortero y las piezas de mampostería), y también la falla por tensión diagonal (Tena Colunga, Juárez Ángeles, and Salinas Vallejo, 2007). Con respecto a la calidad técnica y profesional del sector de la construcción de Nicaragua, si bien es cierto, existen ofertas a nivel técnico y de pregrado para la formación de maestros de obra, ingenieros civiles y arquitectos en diferentes instituciones públicas y privadas; a nivel de posgrado no existen programas orientados a la investigación de materiales, y de manera específica de “materiales de construcción” (Hernández, 2017). Este trabajo tiene por objetivo determinar la resistencia a la compresión vertical y diagonal de prismas y muretes, elaborados con dos tipos de bloques huecos de concreto, y evaluar su relación con la vulnerabilidad estructural de los edificios ante sismos.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1 Mampostería

La mampostería es un sistema constructivo heterogéneo con dos componentes elementales: ladrillos y mortero. El mortero cumple diferentes funciones en este sistema, una de ellas es formar una capa de ensamblaje para los ladrillos y la otra es permitir una transmisión uniforme de las fuerzas internas. El mecanismo de falla de la mampostería depende de la diferencia del módulo elástico entre cada ladrillo y el mortero (Freeda Christy, Tensing, and Mercy Shanthi, 2013).

La mampostería es una combinación de varios materiales, su falla depende de múltiples factores (Sánchez Tizapa, et al. 2017) tales como:

- a) La existencia o inexistencia de elementos de refuerzo, tales como acero horizontal, acero vertical o elementos de confinamiento.
- b) Relación de forma de los muros.
- c) Características mecánicas, geométricas y físicas de las piezas, incluyendo su rugosidad.
- d) Tipo y magnitud de la sollicitación.
- e) Características físicas y mecánicas del mortero.
- f) Relación entre las características mecánicas del mortero y las piezas.
- g) El nivel de saturación de las piezas al momento de pegarlas.

Como se mencionó anteriormente, la mampostería forma parte crucial de la identidad constructiva nicaragüense. Ésta, además de ser empleada como cerramiento, también se utiliza en muros de carga (como elementos de fachada y otros). Comúnmente se considera como "no estructural" y no se toma en consideración en el proceso de análisis de la respuesta del edificio ante eventos sísmicos. Sin embargo, al separarse la mampostería de la estructura, se corre el riesgo de volcarse debido a la pérdida del efecto del arco que le permite resistir las fuerzas laterales. Al mismo tiempo, si la mampostería se separa de la estructura, pierde su efecto rigidizador, por lo que el período fundamental aumenta (Pujol y Rodríguez, 2019)

2.2 Materiales

Para la realización de los ensayos se utilizaron materiales de uso regular en la construcción del departamento de Managua, tales como:

- Arena – obtenida del banco motastepe. Fue cribada por la malla No.8, para la elaboración del mortero de pega.
- Cemento – se utilizó Cemento Hidráulico Tipo GU, que cumple con lo indicado en la norma ASTM C1157 (ASTM, 2000)
- Mortero de pega – el mortero de pega es la mezcla que se utiliza para unir adecuadamente las unidades de mampostería, sean estas de tipo huecas o sólidas. Se trabajó acorde a la relación de dosificación 1:3 (1 de cemento y 3 de arena), con relación agua/cemento de 0.6, siendo su resistencia de 2500 psi o 176 kg/cm². Según la normativa, la resistencia a la compresión no debe ser menor de 120 kg/cm² a los 28 días y la junta en las paredes proporciona como mínimo un esfuerzo de tensión de 3.5 kg/cm² (MTI 2007).
- Bloque hueco de cemento – se consideran bloques huecos a las unidades que presentan en su sección más desfavorable un área neta por lo menos del 50% del área bruta y el espesor de sus paredes con un mínimo de 2.5 cm. Los diferentes especímenes (prismas y muretes) fueron construidos con 2 tipos de bloques, los cuales fueron adquiridos en una fábrica de bloques (bloquera) artesanal y otra semi-industrial. Las unidades fueron construidas según lo indicado en el Reglamento Nacional de la Construcción (MTI, 2007), y tienen dimensiones de 15 x 20 x 40 cm.

2.3 Metodología

La metodología utilizada en esta investigación para la elaboración y ensayo de los prismas y muretes contempla las siguientes etapas: (1) selección de 2 bloqueras para la revisión de las capacidades de carga de los bloques, (2) selección de los especímenes, (3) construcción y ensayo de especímenes y (4) análisis de resultados.

a) Selección de bloqueras

Con el apoyo del ministerio de transporte e Infraestructura (MTI), que facilitó una lista actualizada de bloqueras registradas en la región del pacífico, en las cercanías y dentro de Managua, se seleccionaron 2 fábricas con reconocimiento popular en el medio de la construcción. Una de estas de tipo artesanal y la segunda semi-industrial. En estas fábricas se adquirieron los bloques a ensayar.

b) Selección de los especímenes

Se marcaron in-situ en cada bloquera cada uno de los bloques que fueron usados en los diferentes ensayos. Estos fueron marcados el mismo día de su compra y permanecieron en las fábricas durante tres semanas, siguiendo los procedimientos de almacenamiento y curado propios de cada empresa. Al concluir las tres semanas, los especímenes fueron retirados y trasladados al laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería, donde se prepararon y practicaron los ensayos.

c) Elaboración y ensayo de especímenes

Acorde con la normativa nacional “Norma mínima de diseño y construcción de mampostería MP-001” y la ASTM E519 / E519M (ASTM, 2000), se elaboraron 6 prismas y 7 muretes para la realización de los ensayos. Los especímenes (prismas y muretes) fueron construidos luego de 28 días de la adquisición y curado de los bloques, dentro del laboratorio. Se aplicó el curado con agua diariamente durante un periodo de 21 días.

Se realizaron primeramente los ensayos en prismas de arreglo vertical de bloques (con 4 bloques construidos uno sobre otro según indica la normativa), y posteriormente en muretes sometidos a compresión diagonal.

El ensayo de los prismas cumplió con los requerimientos siguientes: el espesor del prisma debe ser igual al espesor de los muros de la estructura (construcción regular de viviendas en Managua), la

longitud del prisma debe ser mayor o igual al espesor y a la longitud de la unidad de mampostería, la altura debe incluir un mínimo de tres hiladas de unidades de mampostería (en este caso se utilizaron cuatro hiladas=cuatro bloques). Finalmente, el valor del cociente entre la altura y el espesor se debe encontrar en el rango de 2 a 5 ($0.85 / 0.17 = 5$) (MTI, 2017).

El ensayo de muretes cumplió con los requerimientos, al igual que los prismas. Fueron construidos dentro de un laboratorio, replicando las características y procedimientos propios del ejercicio de la construcción en la ciudad. Para esto, se contó con la participación de maestros de obras, quienes erigieron los especímenes (Figura 1). El ensayo se realizó en muretes construidos con el mismo tipo de piezas, mortero y técnica de fabricación. Antes del ensaye, las esquinas de la diagonal a compresión fueron cabeceadas con azufre, manteniendo una capa de separación con espesor máximo de 5 mm. Durante los ensayos, la carga se aplicó hasta alcanzar la fractura de las probetas (MTI, 2017).



Figura 1. Proceso de construcción, y ensayo de prismas y muretes.

De acuerdo con la Norma ASTM E519 (ASTM, 2000), se pueden ensayar al menos 3 probetas elaboradas con el mismo tipo y tamaño de unidad de mampostería, mortero y mano de obra. Posteriormente al ensayo realizado, se calcularon los valores de resistencia a la compresión diagonal de los especímenes (V_m) y su desviación estándar, considerando la carga máxima aplicada ($P_{máx}$), el espesor del murete (t) y la longitud de la diagonal (L_c) (Fernández Baqueiro, et al. 2009). Los muretes se ensayaron someténdolos a una carga de compresión a lo largo de su diagonal (Figura 2) y el esfuerzo cortante medio se determinó dividiendo la carga máxima entre el área bruta del murete medida sobre la misma diagonal (Tena Colunga, et al. 2007), que será resultado de multiplicar el espesor del muro por la longitud de la diagonal en que se ejerce la carga. Para determinar la carga aplicada en los muretes se registró el valor del manómetro analógico usado, empleando la siguiente ecuación (1).

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

Dónde:

F= Fuerza o Carga aplicada

P= Presión

A= Área efectiva del pistón o gato hidráulico (Valor)

A partir de esta conversión, se realizaron los cálculos de carga axial máxima resistida en prismas y la resistencia característica de la mampostería al corte por compresión diagonal, utilizando las ecuaciones (2) y (3), respectivamente. En este trabajo la ecuación 2 fue modificada. Para el cálculo se consideraron 3 especímenes en vez de 5.

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

Dónde:

$f'm$ = Resistencia básica a la compresión

x= Resistencia a la compresión promedio de los 3 prismas

x3, x1= Mayor y menor valor de la resistencia de los ensayos

$$Vm = P / (t * Lc) \quad \text{or} \quad Vm = P / A \quad (3)$$

Dónde:

Vm= Resistencia a compresión diagonal

t= espesor del murete

Lc= longitud de la diagonal

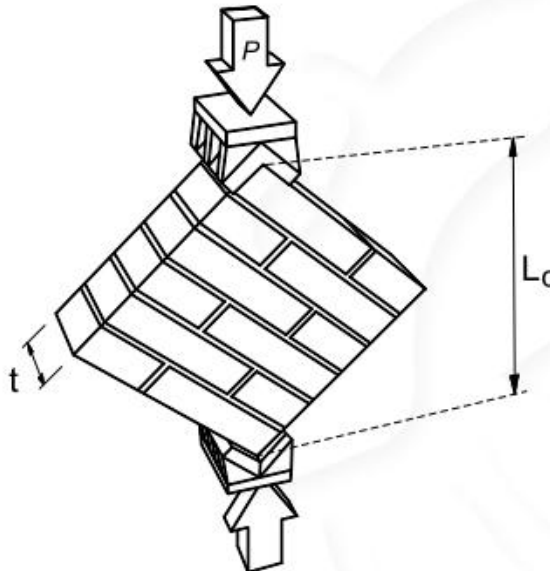


Figura 2. Posición de ensaye murete. NMX-C-464NMX-C-464-ONNCCE (2010)

3. RESULTADOS

3.1 Ensayo de prismas

Se realizaron 6 ensayos de prismas elaborados a partir de bloques de concretos comprados en una bloquera artesanal y una semi-industrial, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 1. Tipos de fallas en ensayos de prismas.

Nº	Código	Tipo de bloque	Fecha de elaboración	Tipo de falla
1	BE-2-1	Estructural	21/11/2017	Deslizamiento/colapso
2	BE-2-2	Estructural	21/11/2017	Deslizamiento/colapso
3	BE-2-3	Estructural	20/11/2017	Deslizamiento/colapso
4	BNE-1	No estructural	21/11/2017	Deslizamiento/colapso
5	BNE-2	No estructural	21/11/2017	Colapso
6	BNE-3	No estructural	20/11/2017	Colapso

En los ensayos realizados se presentaron dos tipos de comportamientos (Tabla 1), uno de falla por deslizamiento y otro por colapso. De los 6 especímenes, 4 mostraron ambos comportamientos y 2 por colapso, que ocurrieron de manera inmediata, debido a su baja resistencia mecánica.

Los prismas con menor resistencia fueron elaborados con bloques de tipo no estructural (bloquera artesanal), y los que presentaron resistencia alta fueron, según su clasificación del tipo estructural, tipo 2 (BE-2) (bloquera semi-industrial).

Tabla 2. Resistencia a la compresión de prismas elaborados con bloque estructural.

Nº	Código	Tipo de bloque	Altura (cm)	Espesor (cm)	An/Área (cm ²)	P (Falla inicial) (kg)	P.f (Colapso) (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Fecha de elaboración
1	BE-2-1	Estructural	80.5	15	1207.5	38640	44160	36.6	21/11/2017
2	BE-2-2	Estructural	80.5	15	1207.5	38640	44160	36.6	21/11/2017
3	BE-2-3	Estructural	80.5	15	1207.5	44160	52440	43.4	20/11/2017
						Promedio	46920	38.9	
			C	X3-X1			Desviación estándar	4.0	
			0.431	6.9	f _m =	35.9	Error	10.2	

En las Tablas 2 y 3 se muestra que la resistencia a la compresión de los prismas (f_m) fue mayor en los elaborados con bloques estructurales, en comparación con los del tipo no-estructural. El bajo valor del error indica que estas unidades de bloques presentan valores de resistencia a la compresión homogéneas.

Tabla 3. Resistencia a la compresión de prismas elaborados con bloque no-estructural

Nº	Código	Tipo de bloque	Altura (cm)	Espesor (cm)	An/Área (cm ²)	P (Falla inicial) (kg)	P.f (Colapso) (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Fecha de elaboración
1	BNE-1	No estructural	80.7	15	1210.5	0	19320	16.0	21/11/2017
2	BNE-2	No estructural	80.7	15	1210.5	5520	8280	6.8	21/11/2017
3	BNE-3	No estructural	80.7	15	1210.5	0	8280	6.8	20/11/2017
						Promedio	11960	9.93.6	
			C	X3-X1			Desviación estándar	5.3	
			0.431	9.1	f _m =	5.9	Error	53.3	

3.2 Ensayo de muretes

La realización de los ensayos de muretes fue la conclusión de un proceso que inició en el 2017. La edad de pruebas de los muretes fue de 950 días. Se ensayaron 7 muretes, 6 de ellos con dimensiones de 1 x 1m y uno de 80 x 80 cm. Para los ensayos se utilizó un marco de carga conformado por un sistema hidráulico compuesto por un gato hidráulico Power Team de 55 Ton, con su respectiva bomba y manómetro analógico, con capacidad de 10,000 psi. En la Tabla 4 y 5 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 4. Resistencia diagonal de muretes elaborados con bloque estructural.

Código	Bloque	Dimensiones (cm)	Espesor t (cm)	Altura/Longitud diagonal Lc (cm)	t*Lc (cm ²)	Carga (kg)	Vm (kg/cm ²)	Fecha de ensayo	Tipo de falla
	Tipo								
CA-01	Estructural	100x100x15	15	145	2175	12519.2	5.8	27/5/2020	Tensión diagonal
CA-02	Estructural	100x100x15	15	145	2175	17526.8	8.1	2/6/2020	Aplastamiento
CA-03	Estructural	100x100x15	15	145	2175	13520.7	6.2	2/6/2020	Combinada (tensión y cortante)
CA-04	Estructural	100x100x15	15	145	2175	14021.5	6.4	3/6/2020	Cortante-Adherencia del mortero
CA-05	Estructural	80x80x15	15	117	1755	12519.2	7.1	5/6/2020	Cortante-Adherencia del mortero
					Promedio	14021.5	6.7		
						Desviación estándar	0.9		
						Error	13.3		

Tabla 5. Resistencia diagonal de muretes elaborados con bloque no estructural

Código	Bloque	Dimensiones (cm)	Espesor t (cm)	Altura/Longitud diagonal Lc (cm)	t*Lc (cm ²)	Carga (kg)	Vm (kg/cm ²)	Fecha de ensayo	Tipo de falla
	Tipo								
CA-06	No estructural	100x100x15	14.5	145	2102.5	11517.63	5.5	21/5/2020	Tensión diagonal
CA-07	No estructural	100x100x15	14.5	145	2102.5	3755.74	1.8	5/6/2020	Tensión diagonal
						Promedio	3.6		
						Desviación estándar	2.6		
						Error	71.9		

La toma inmediata de los datos de estos ensayos se realizó por medio de una ficha de campo que permitió registrar el tipo de falla y la medida de la presión que se dio en cada caso. De los 7 muretes (6 de 1 x 1 m y uno de 0.8 x 0.8 m) se evidenciaron tres tipos de comportamiento: falla por tensión diagonal, falla por cortante-adherencia de mortero y falla combinada (tensión y cortante). La falla más repetida fue la de cortante, se presentó en 3 muretes (dos de 1 x 1 m y uno de 0.8 x 0.8 m). Uno de los especímenes ensayados falló por aplastamiento (bloque superior).

La resistencia a la compresión diagonal (Vm) fue mayor en los especímenes elaborados con bloque estructural en comparación con los no estructurales. Similar a lo observado en los valores de f'm, el error obtenido en los muretes elaborados con bloques estructurales fue menor que el de los elaborados con bloques no estructurales.

Es importante destacar que estos ensayos fueron realizados por primera vez en la Universidad Nacional de Ingeniería, logrando obtener datos generales de las fallas de muretes, especialmente de los construidos con bloque de origen semi-industrial, clasificado por la norma NTON por su resistencia en Estructural Tipo 2 (NTON 12 008, 2016).

4. DISCUSIÓN

En la industria de la construcción se considera que la resistencia y durabilidad de las estructuras de mampostería dependen en gran medida de la calidad de los ladrillos. Sin embargo, la junta del mortero también contribuye significativamente en la resistencia a la compresión y durabilidad de toda la estructura de un edificio (Freeda Christy, et al. 2013). En este sentido, se ha demostrado que una buena junta de mortero con la resistencia adecuada garantiza un mejor comportamiento frente a fuerzas axiales. Los resultados sugieren diversos comportamientos y valores promedio de Vm, de 6,7 kg/cm² para bloques estructurales y de 3,6 kg/cm² para bloques no estructurales.

Los resultados de los valores de f'm realizados por Tena et al., (2017) fueron similares a los presentados en este trabajo. Fabricaron 10 prismas para cada tipo de pieza de mampuesto y mortero, lo que resultó en un total de 120 muestras de mampostería, para ensayos de resistencia a la compresión. En condiciones similares a las de esta investigación, en el trabajo de Tena et al., (2017), la falla registrada en los prismas se debió a tracción lateral (tensión), que se inicia en las piezas y atraviesa las juntas de mortero, lo cual es deseable en una buena mampostería, donde se cumple la premisa de diseño de mortero débil-piezas resistentes. Para el cálculo de resultados, utilizaron valores de P (carga axial máxima resistida), An (área bruta de la sección transversal de la pila) y un valor de ajuste de la relación de esbeltez (para este caso h/b=3,12) (Tena Colunga, et al. 2007).

En el caso de la muestra ensayada en esta investigación la carga máxima promedio fue P= 46920 kg para bloque estructural y P=11960 kg para bloque no estructural, y la resistencia básica obtenida

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

a la compresión a partir del procedimiento sugerido en la normativa nacional dio como resultado un $f'_m=35.9 \text{ kg/cm}^2$ y $f'_m=5.9 \text{ kg/cm}^2$, respectivamente. El comportamiento fue análogo en ambos ensayos, comprobando que el bloque estructural tipo 2 tiene capacidades similares al realizado en México. Otro dato relevante fue la reducción de la carga axial máxima resistida por los prismas con bloques no estructurales, que fue de 4 veces de menor capacidad a la de bloques estructurales. Ensayos similares fueron realizados por investigadores de la ciudad de México, para pruebas realizadas en 2 arreglos de muros, a partir de dos tipos unidades (bloques de mortero de cemento y ladrillos de barro). Obtuvieron importantes conclusiones: el arreglo del murete es muy importante en la determinación de la resistencia a tensión diagonal, ocasionando diferencias entre los resultados obtenidos por los dos tipos de arreglos ensayados. Las diferencias varían considerablemente, siendo la resistencia promedio de uno de ellos tan solo del 50 % de la obtenida en el segundo. La diferencia se debió a que el modo de falla dominante observado en ambos arreglos fue diferente (Tena Colunga, et al. 2007).

Para los muretes con el arreglo 1, el modo de falla que predominó fue por deslizamiento de la mampostería (debido a una débil adherencia entre el mortero y las piezas de mampostería), mientras que en los muretes del arreglo 2 el modo de falla predominante fue por tensión diagonal. Solamente en uno de los nueve muretes se presentó la falla por esfuerzos tangenciales en las juntas. Los morteros para los arreglos de muretes ensayados a compresión diagonal y otros ensayos (pesaje de 30 cubos), respondían a las características de: peso volumétrico promedio del mortero $\gamma_j = 1.57 \text{ ton/m}^3$, resistencia promedio $f = 245.7 \text{ kg/cm}^2$, coeficiente de variación $c_j=0.319$ y su resistencia índice de diseño $f^*_j= 136.6 \text{ kg/cm}^2$. Esta última fue superior a los 125 kg/cm^2 que establecen las NTCM-2004 para un mortero tipo I (Tena Colunga, et al. 2007).

Otra investigación, en la que se ensayaron 12 muros, reveló valores de resistencia a la compresión diagonal con una variación entre $1,83$ y $3,43 \text{ kg/cm}^2$, obteniendo un valor promedio de $2,78 \text{ kg/cm}^2$ y un coeficiente de variación de $0,2$, asumiendo que la resistencia a la compresión diagonal se ajusta a una distribución normal. Se determinó que la resistencia a la compresión diagonal de la mampostería depende de la adherencia bloque-mortero, ya que en todos los casos se produjo una falla en la unión. El módulo de cortante promedio de la mampostería fue de $16,71 \text{ kg/cm}^2$, lo que corresponde al 42 % del módulo elástico promedio de la mampostería en la región (Fernández Baqueiro, et al. 2009).

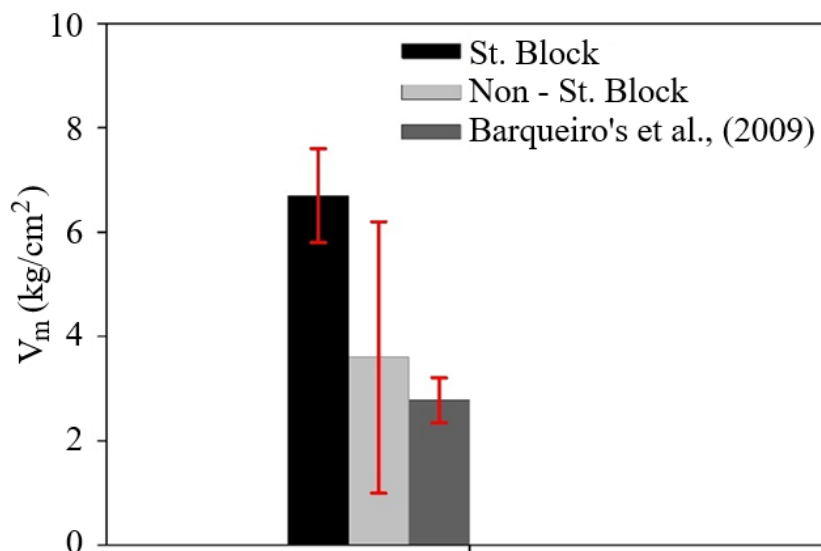


Figura 3. Comparación de los resultados de resistencia a la compresión diagonal obtenidos con los de Baqueiro's et al (2009).

En la Figura 3 se muestra que la resistencia a la compresión diagonal de los muros con bloque estructural fue 2,4 veces mayor que el resultado obtenido por Fernández Baqueiro et al., (2009). Sin embargo, en los muros elaborados con bloque no estructural, fueron similares. Esto demuestra que la capacidad resistente del bloque estructural tipo 2 tiene una buena respuesta frente a una carga axial. La falla en la junta está directamente relacionada con el mortero de junta de las unidades para la conformación del muro. Para los efectos de ensayo del muro muestra gran importancia en el comportamiento final bajo la acción de una fuerza cortante. La resistencia indicada en la norma MP-001 (MTI, 2017), para el mortero de junta, indica que debe existir una correspondencia entre la resistencia a la compresión del mortero y la resistencia a la compresión de la unidad de mampostería utilizada, pero en cualquier caso, este valor no puede ser inferior a 58 kg/cm².

Los resultados obtenidos en esta investigación, en comparación con el número de especímenes ensayados por los investigadores mencionados en este artículo, muestran similitudes en el comportamiento y en la resistencia diagonal, que, en este caso, se sitúa entre 1,8 kg/cm² (bloque no estructural) y 8,1 kg/cm² (bloque estructural). Otro comportamiento análogo al mostrado en los resultados de Tena et al., (2017) es la falla por cortante en la adherencia entre el bloque y el mortero de junta, la cual es una tendencia, siendo la principal causa de falla en muros.

Tanto en las pruebas con prismas como muretes, se comprobó que los especímenes construidos con el bloque artesanal, que corresponden al tipo no estructural, en general mostraron tendencias de fallas más inmediatas, con menor resistencia, inclusive, que la del mortero de pega.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran tres tipos de falla en muros, siendo la falla por cortante la más común debido a la mala adherencia del mortero, seguida de la falla combinada y por la de tensión diagonal. Se destaca que el 50% de los muros construidos con bloques estructurales Tipo 2 (de una fábrica de bloques semi-industrial) presentaron falla por cortante, mientras que los dos muros construidos con bloques no estructurales (de una fábrica de bloques artesanal) fallaron debido a la tensión diagonal.

Los patrones de falla observados y sus causas inmediatas brindan información valiosa para reducir la vulnerabilidad estructural de edificaciones, lo que representa un esfuerzo significativo para mitigar riesgos, particularmente los sísmicos en Nicaragua.

Los valores de referencia para la resistencia a la compresión diagonal de la mampostería sugieren un valor de diseño de 1.80 kg/cm², el cual es inferior a los resultados experimentales obtenidos (6.7 kg/cm²). Sin embargo, se requieren más pruebas con bloques estructurales Tipo 2 de bloqueras semi-industriales para determinar este valor, tomando en cuenta los materiales de construcción disponibles localmente. Estas consideraciones y resultados contribuyen a la reducción de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones, desde la concepción estructural del diseño y el uso adecuado de los materiales, de manera particular para la tipología habitacional.

6. REFERENCES

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

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

- American Society for Testing and Materials (2000). *Annual Book of ASTM Standards, Section Four, Construction*, Volume 04.2 Construction, Concrete and Aggregates. USA: ASTM.
- Bonett Díaz, R. L. (2003). “*Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de Edificios, Aplicación a Entornos Urbanos En Zonas de Amenaza Alta y Moderada.*” Universidad Politécnica de Cataluña.
- Fernández Baqueiro, L., Marín Gómez, F., Varela Rivera, J. y Vargas Marín, G. (2009). *Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto.* Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 13-2, pp. 41-50, ISSN: 1665-529X.
- Freeda Christy, C., Tensing, D., Mercy Shanthi, R. (2013). “*Experimental Study on Axial Compressive Strength and Elastic Modulus of the Clay and Fly Ash Brick Masonry.*” Journal of Civil Engineering and Construction Technology, 4(4):134–41. https://academicjournals.org/webpkgcache.com/doc/-/s/academicjournals.org/article/article1379608865_Freeda%20et%20al.pdf
- Hernández, E. (2017). *Construcción durable - Una visión de futuro para Nicaragua.* Revista Arquitectura +, 2(4), 8–12. <https://doi.org/10.5377/arquitectura.v2i4.9139>
- MTI. 2007. “*Reglamento Nacional de Construcción.*” 156.
- MTI. 2017. “*Norma Mínima de Diseño y Construcción de Mampostería (MP-001).*” Ministerio de Transporte e Infraestructura 1–58.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (2011). *NMX-C-464-ONNCCE-2010 - Industria de la Construcción-Mampostería-Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto.* Comité técnico de normalización de productos, sistemas y servicios para la construcción.
- NTON 12 008. 2016. “*Materiales de Construcción. Bloque Hueco y Sólido a Base de Cemento y Agregados Pétreos. Requisitos y Evaluación de La Conformidad.*”
- Pujol, S., Rodríguez, M. E. (2019). *Evaluación del comportamiento de muros no estructurales en edificios de la ciudad de México en el terremoto del 19 de septiembre 2017.* Revista Ingeniería Sísmica, (101), 53–66. <https://doi.org/10.18867/ris.101.529>
- Ruíz Valverde, H. Y., Morales Leiva, F. (2018). “*Vulnerabilidad estructural en viviendas de interés social hechas con bloques de concreto en managua.*” Universidad Nacional de Ingeniería.
- Sánchez Tizapa, S., Villaseñor Franco, A., Guinto Herrera, E., Barragán Trinidad, R., Mebarki, A. (2017). *Propuesta de valores de referencia para la resistencia de diseño a compresión diagonal y compresión de la mampostería en el estado de Guerrero, México.* Revista ALCONPAT, 7(3), 231 - 246. <https://doi.org/10.21041/ra.v7i3.159>
- Tena, A., Liga, A., Pérez, A., González, F. (2017). *Propuesta de mejora de mezclas para producir piezas de mampostería de concreto empleando materiales comúnmente disponibles en el Valle de México.* Revista ALCONPAT, 7(1), 36-56. <https://doi.org/10.21041/ra.v7i1.170>
- Tena Colunga, A., Juárez Ángeles, A., Salinas Vallejo, V. H. (2007). *Resistencia y deformación de muros de mampostería combinada y confinada sujetos a cargas laterales.* Revista Ingeniería Sísmica, (76), 29–60. <https://doi.org/10.18867/ris.76.58>