

## Modelos analíticos para el comportamiento a cortante en el plano de muros esbeltos de mampostería confinada sometidos a cargas laterales

Analytical models for the in-plane shear behavior of confined masonry walls with aspect ratios greater than one subjected to lateral loads



Recibido: julio 2023

Aceptado: septiembre 2023

Saúl Pérez<sup>1</sup>

Email: seperez@uamv.edu.ni

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8967-6818>

El presente artículo científico es parte de los resultados de la investigación llevada a cabo por el autor para su tesis de maestría en la Universidad Americana (UAM). Managua Nicaragua.

### Resumen

Muchos modelos analíticos han sido propuestos para predecir la capacidad a cortante de muros de mampostería confinada, pero se han formulado a partir de pruebas experimentales de muros con una relación de aspecto unitaria ( $h/L = 1$ ). En este estudio se determina el comportamiento a cortante en el plano de muros de mampostería confinada con relaciones de aspecto mayores que uno ( $h/L > 1$ ) sometidos a cargas laterales, modelados con la metodología de la columna ancha modificada utilizando dos modelos analíticos. Con el objetivo de validar estos modelos analíticos, se utilizaron resultados experimentales encontrados en la literatura. Las pruebas experimentales se tratan de muros aislados de mampostería confinada, con distintas relaciones de aspecto, sujetos a cargas gravitacionales y cargas laterales monotónicas. Las curvas Cortante-Distorsión de las pruebas experimentales y los resultados analíticos fueron comparadas y se obtuvo una buena correlación en el rango elástico, el cual es prioritario para la fase de diseño estructural.

### Palabras clave:

Cortante en el plano, mampostería confinada, relación de aspecto, cargas laterales monotónicas, articulaciones plásticas.

### Abstract

Many analytical models have been proposed to predict the shear capacity of confined masonry walls, but they have been formulated from experimental tests of walls with a unit aspect ratio ( $h/L = 1$ ). This study determines the in-plane shear behavior of confined masonry walls with aspect ratios greater than one ( $h/L > 1$ ) subjected to lateral loads modeled with the modified wide column methodology using two analytical models. Experimental results found in the literature were used to validate these analytical models. The experimental tests deal with isolated confined masonry walls, with different aspect ratios, subjected to gravitational loads and monotonic lateral loads. The shear-distortion curves of the experimental tests and the analytical results were compared and a good correlation was obtained in the elastic range, which is a priority for the structural design phase.

**Keywords:** In-plane shear, confined masonry, aspect ratio, monotonic lateral load, plastic hinges.

<sup>1</sup> Máster en Ingeniería Estructural con mención en Sismorresistencia por la Universidad Americana. Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Managua, Nicaragua.

## 1. Introducción

Se han realizado, desde la década de 1970, estudios experimentales con el objetivo de identificar el comportamiento de muros de mampostería confinada ante cargas laterales. Los códigos de diseño se han encargado de normalizar el uso de este sistema estructural mediante ecuaciones convencionales basadas en fuerzas.

Distintas metodologías han sido propuestas para el modelado y posterior análisis de muros de mampostería confinada. Modelos basados en micro elementos, tales como el Método de los Elementos Finitos y el Método de Elementos de Frontera (Ishibashi & Kastumata, 1994). Por otro lado, existen también modelos basados en macro elementos, tales como la Metodología de la Columna Ancha (Tomažević, 1999). Existen algunas modificaciones a esta metodología, realizadas con el fin de capturar el comportamiento inelástico, como las propuestas por Beyer & Priestley (2008) y Zúñiga & Terán (2008).

Álvarez (1996) evidenció, partiendo de pruebas

experimentales de varios autores, que la resistencia a cortante aumenta a medida que disminuye la relación de aspecto. Esto también fue evidenciado por Fernández et al. (2014), además de denotar un aumento en la resistencia a cortante a medida que la carga gravitacional aplicada aumenta.

Sánchez et al. (2010) realizó una campaña experimental y comparó estos resultados con los obtenidos utilizando distintos modelos analíticos. Los modelos analíticos utilizados fueron los propuestos por Coral (2004), Sulpicio et al. (2010) y Zúñiga & Terán (2008). En la figura 1 es posible observar que “la aproximación de los resultados es aceptable para muros y sistemas estructurales” (Sánchez et al., 2010). Cabe destacar que los muros estudiados tenían una relación de aspecto unitaria y es advertido que, si esto no se cumple, utilizar estos modelos “puede generar resultados erróneos” (Sánchez et al., 2010) debido a las condiciones geométricas y a los esfuerzos de flexión y cortante experimentados.

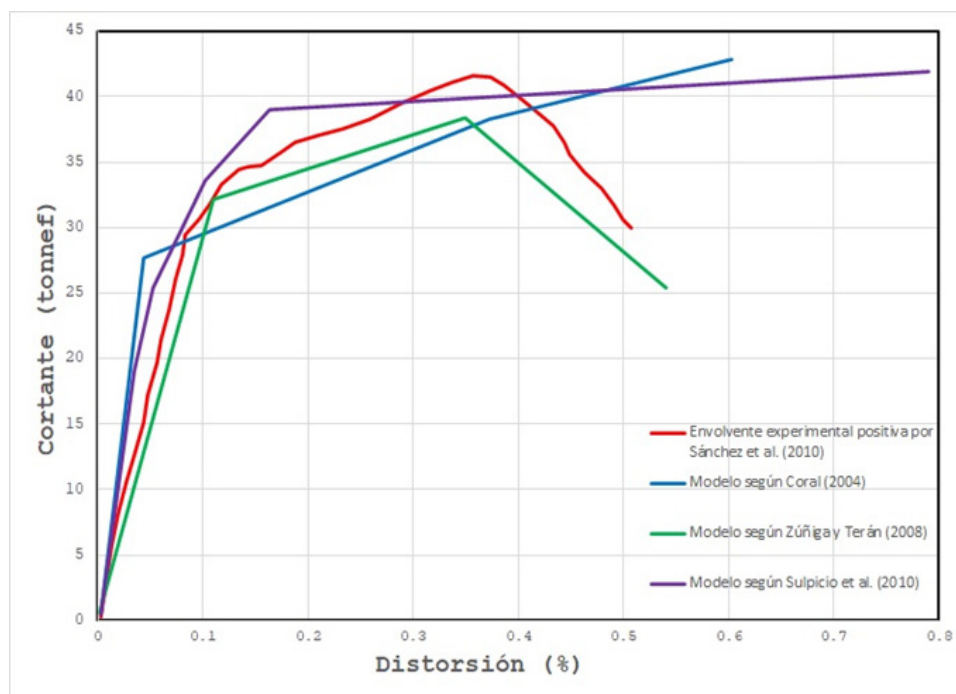


Figura 1.

Curvas de capacidad con diversos modelos analíticos, obtenido de Sánchez et al. (2010)

## 2. Diseño Metodológico

### 2.1. Tipo de Investigación

El desarrollo del presente estudio fue llevado a cabo siguiendo una metodología con un enfoque cuantitativo. Este enfoque, que según Sampieri et al. (2010) se fundamenta en un esquema deductivo y lógico, busca formular preguntas de investigación e hipótesis para posteriormente validarlas.

Por su parte, se empleó la técnica observacional con enfoque cuantitativo ya que permite recolectar información cuantificable sobre un comportamiento específico de interés. En este caso particular, el aspecto cuantificable de interés es la efectividad con que los modelos analíticos predicen el comportamiento a cortante en el plano de muros de mampostería confinada con relaciones de aspecto mayores que lo sometidos a cargas laterales.

### 2.2. Tiempo de ejecución

El estudio presentado constó de cuatro fases de ejecución. La primera fase, en que se invirtieron tres semanas, se enfocó en investigar sobre el estado del arte del modelado de mampostería confinada y los distintos modelos analíticos propuestos en la literatura.

La segunda fase, en que se invirtieron seis semanas, se enfocó en recolectar datos de campañas experimentales. La tercera fase, en que se invirtieron cuatro semanas, se enfocó en el análisis de los datos y la obtención de resultados.

La cuarta fase, en que se invirtieron tres semanas, se enfocó en la redacción final. Este proceso fue desarrollado durante el periodo comprendido entre enero y mayo del 2023.

### 2.3. Técnica y métodos de recolección de datos

#### 2.3.1. Fuentes primarias

Tesis de maestrías y tesis de doctorados en que se llevaron a cabo campañas experimentales de muros de mampostería confinada encontrados en la literatura.

#### 2.3.2. Fuentes secundarias

Documentos bibliográficos sobre comportamiento del sistema estructural de mampostería confinada y sus componentes.

### 2.4. Universo

Campañas experimentales de muros de mampostería confinada sometidos a cargas laterales encontrados en la literatura.

### 2.5. Muestra

Los muros de mampostería confinada estudiados pertenecen a un estudio experimental llevado a cabo por Cruz (2010). Tanto las propiedades geométricas como las propiedades mecánicas fueron obtenidas de dicho estudio.

#### 2.5.1. Criterio de inclusión

El estudio presentado incluye únicamente los resultados obtenidos de muros de mampostería confinada, del estudio experimental llevado a cabo por Cruz (2010), con una relación de aspecto mayor que uno ( $h/L > 1$ ).

#### 2.5.2. Criterio de exclusión

El estudio presentado excluye los resultados obtenidos de muros de mampostería confinada, del estudio experimental llevado a cabo por Cruz (2010), con una relación de aspecto menor o igual que uno ( $h/L \leq 1$ ).

## 3. Aspectos Teóricos

### 3.1. Degradación de la rigidez

Es posible definir la rigidez como la pendiente de la línea secante que une los puntos de corte máximo y distorsión máxima en cada ciclo de carga. La figura 2 evidencia como, esta pendiente, disminuye a medida que las deformaciones aumentan.

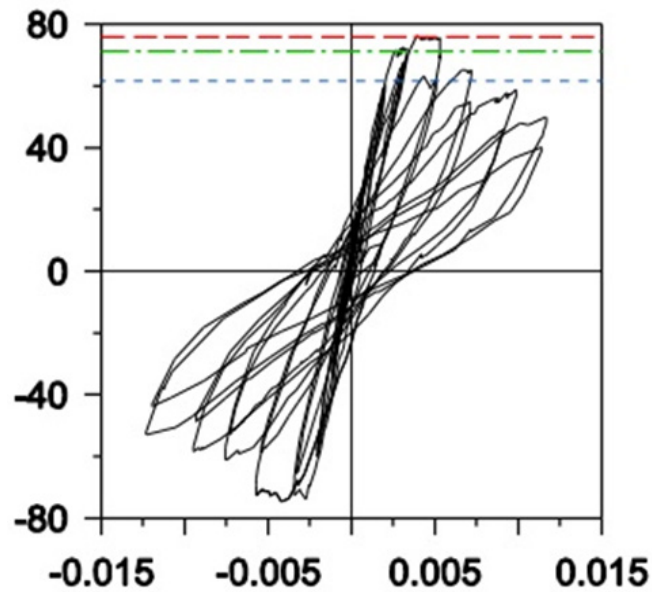


Figura 2.

Disminución de rigidez de la mampostería confinada, obtenido de Pérez Gavilán et al. (2013)

Ruiz García et al. (1998) calibraron una metodología para estimar la rigidez en cada ciclo en muros de mampostería confinada sin refuerzo interior. Esta metodología, ilustrada en la figura 3, consiste en normalizar la rigidez de cada ciclo con la rigidez elástica inicial de la mampostería.

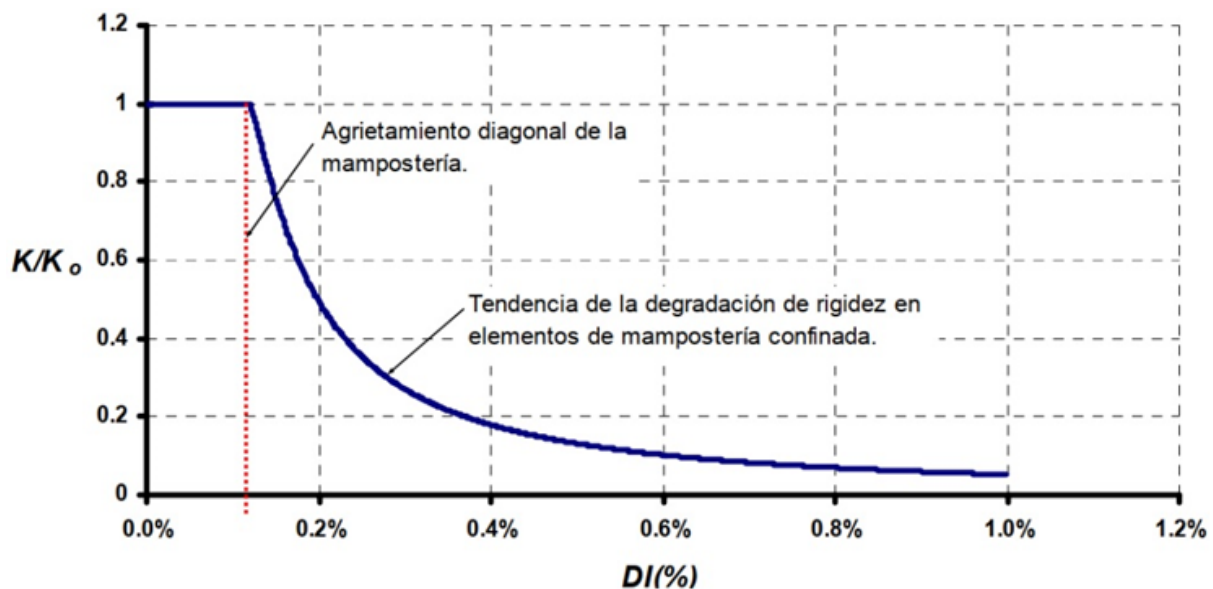


Figura 3.

Degradación de rigidez, obtenido de Ruiz García et al. (1998)

### 3.2 Efecto de la relación de aspecto

En distintas campañas experimentales se ha estudiado el efecto de la relación de aspecto en la resistencia de los muros de mampostería. En los trabajos de Hidalgo et al. (1978) e Hidalgo et al. (1979) se realizó una campaña experimental en la cual estudió 80 muros de mampostería reforzada, a escala real. Se varió el tipo de mampostería, la carga vertical, la cuantía de refuerzo y la relación de aspecto (0.5, 1 y 2).

A partir de estas pruebas, se pudo identificar que la resistencia al agrietamiento y la resistencia máxima coincidían para muros con una relación de aspecto de 1 a 2. Por su parte, para muros con una relación de aspecto de 0.5 se identificó una reserva de resistencia después del agrietamiento. Esta reserva de resistencia era menor en mampostería de concreto, en comparación con mampostería de barro.

Álvarez (1996) evidenció, partiendo de pruebas de varios autores, que la resistencia a cortante aumenta a medida que disminuye la relación de aspecto. Además, argumentó que debe existir, debido a la relación de aspecto, un impacto en la resistencia en función de la distribución de refuerzos comparando con un muro cuadrado.

Matsumura (1998) realizó pruebas en muros de mampostería confinada manteniendo todas las variables constantes, exceptuando la relación de aspecto que se varió entre 0.4 a 1. Se identificó una degradación hiperbólica de la resistencia cortante normalizada con la relación de aspecto. El autor realizó un análisis de regresión para el desarrollo de las ecuaciones de comportamiento, mas no brindó una explicación teórica de las diferencias observadas en la resistencia a cortante.

Riahi et al. (2009) desarrollaron un modelo para la mampostería confinada después de haber estudiado una gran cantidad de muros. Se concluyó, mediante el uso de un análisis de regresión, que el tipo de pieza, el refuerzo transversal en las columnas y la relación de aspecto no tenían una influencia importante para la formulación de modelos de cortante al agrietamiento y a la falla.

El hecho de que la relación de aspecto en el estudio de Riahi et al. (2009) estuvo en un intervalo de 0.7 a 1.2 hizo que hubiera variaciones no muy notables en la resistencia al cortante. Debido a esto y a la gran dispersión de los datos, se hizo complicado relacionar la resistencia al cortante y la relación de aspecto en los muros.

### 3.3 Metodología modificada de la columna ancha

La metodología de la columna ancha es utilizada para analizar el rango elástico de las estructuras de mampostería. La metodología consiste en transformar una estructura de muros de mampostería en una conformada por marcos. Las columnas de la nueva estructura son colocadas en el centro geométrico de los muros de mampostería y cuentan con propiedades que representen el comportamiento a flexión y cortante del muro original.

La metodología modificada de la columna ancha permite realizar análisis inelásticos de estructuras de mampostería. La metodología original es modificada para colocar articulaciones plásticas en la base de las columnas equivalentes, representativas del comportamiento no lineal a cortante y flexión del muro. La disposición de estas articulaciones se ilustra en la figura 4.



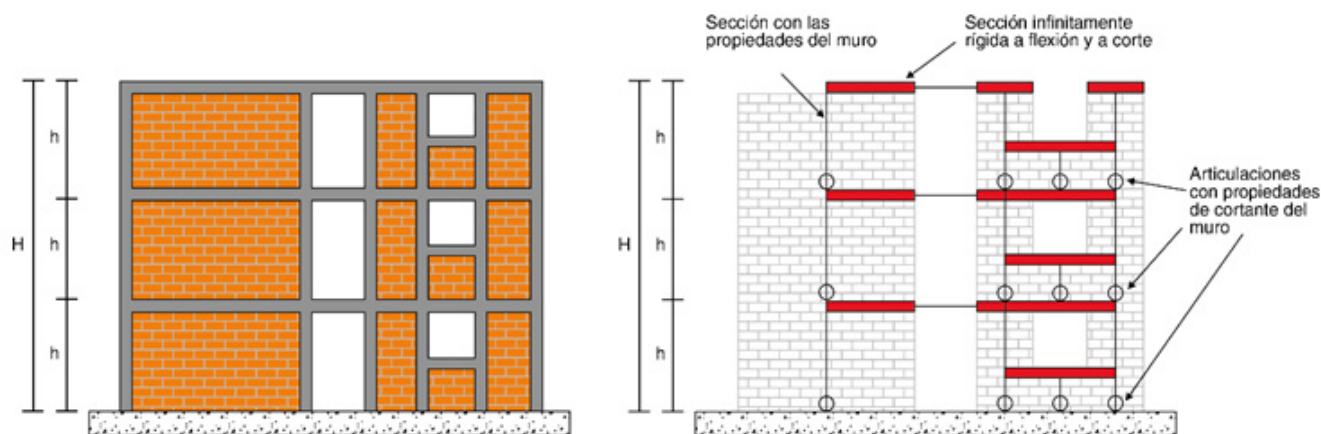


Figura 4.

Modelo de la metodología modificada de la columna ancha, obtenido de Siete (2011)

Para la definición de articulaciones plásticas a cortante del muro, se adopta un modelo de comportamiento fuerza cortante – desplazamiento lateral de muros de mampostería sujetos a carga lateral. Para tal fin, distintos modelos analíticos de comportamiento son encontrados en la literatura.

En estos modelos analíticos, se utiliza la ecuación 1 para el cálculo de la rigidez en el rango elástico de las columnas equivalentes.

$$K_e = \left( \frac{h^3}{\beta EI} + \frac{h}{GA} \right)^{-1}$$

$\beta$  = Factor de condición de apoyo ( $\beta=3$  para muros aislados)

**Ecuación 1**

Donde:

$h$  = Altura del muro

$\beta$  = Factor de condición de apoyo ( $\beta=3$  para muros aislados)

$E$  = Módulo de elasticidad de la mampostería

$I$  = Segundo momento de inercia de la sección del muro

$G$  = Módulo de corte de la mampostería

$A$  = Área de corte de la sección del muro

### 3.4. Modelos analíticos de comportamiento

Tomažević & Klemenc (1998) indicaron que, en una curva idealizada que represente la resistencia de un muro, pueden ser identificadas tres zonas principales: zona de comportamiento elástico, zona de máxima resistencia y zona de degradación de rigidez y resistencia.

En el estudio presentado, el cortante en la zona de comportamiento elástico se estima mediante la ecuación dispuesta en la Norma Mínima de Diseño y Construcción de Mampostería (MTI, 2017). Para fines de este estudio, dicho cortante fue nombrado como  $V_{agr\_NMDCM}$  y se presenta en la ecuación 2.

$$V_{agr\_NMDCM} = 0.8 * (0.5 * v_m + 0.3 * \sigma) * A_T$$

**Ecuación 2**

Flores & Alcocer (2001) propusieron un modelo analítico trilineal para caracterizar el comportamiento de muros de mampostería confinada. El modelo fue elaborado a partir de la envolvente de ciclos histeréticos experimentales en la campaña experimental que se llevó a cabo. En la tabla 1 se presentan las ecuaciones propuestas en dicho modelo analítico trilineal.

Zona de comportamiento	Capacidad a cortante	Desplazamiento
Elástico	$V_{agr\_NMDCM}$	$d_{agr} = \frac{V_{agr\_NMDCM}}{K_e}$
Máxima resistencia	$V_{máx} = 1.25 * V_{agr\_NMDCM}$	$d_{V\ máx} = 0.003 * H$
Degradación de rigidez y resistencia	$V_u = 0.8 * V_{agr\_NMDCM}$	$d_u = 0.005 * H$

Tabla 1.  
Ecuaciones propuestas por Flores & Alcocer (2001)

Por su parte, Alcocer et al. (2013) propusieron un modelo analítico trilineal, ilustrado en la figura 5, que consideraba de mejor manera los desplazamientos.

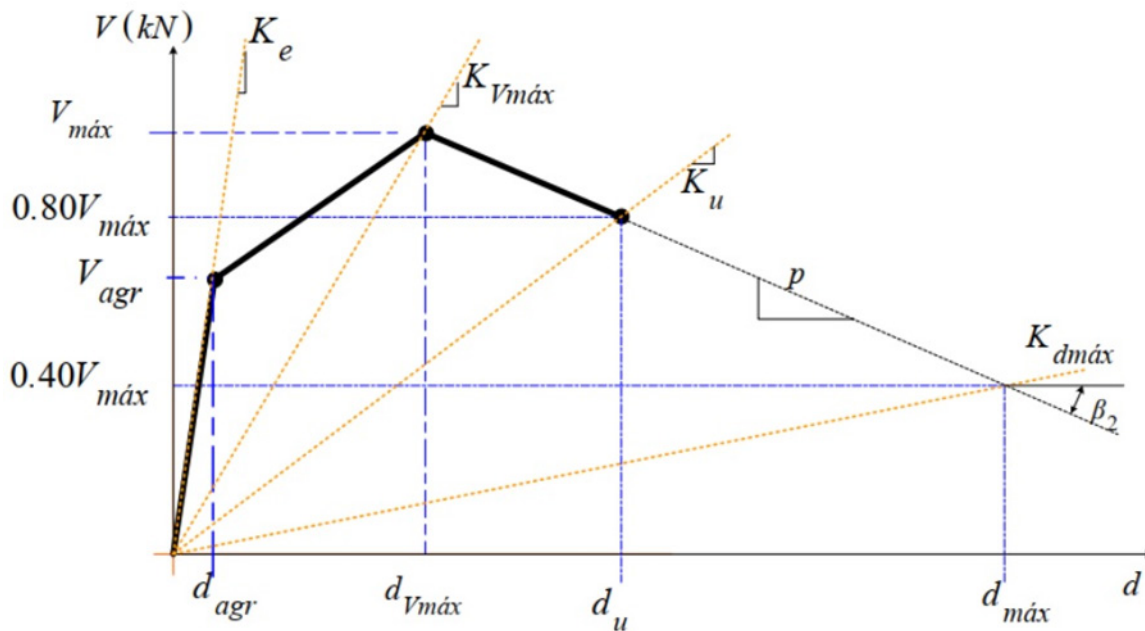


Figura 5.  
Modelo analítico propuesto por Alcocer et al. (2013)

Las ecuaciones de esta propuesta se muestran en la tabla 2. Cabe aclarar que, de igual forma, la capacidad a cortante en el rango elástico se estima mediante la ecuación dispuesta en la Norma Mínima de Diseño y Construcción de Mampostería (MTI, 2017).

Zona de comportamiento	Capacidad a cortante	Desplazamiento
Elástico	$V_{agr\_NMDCM}$	$d_{agr} = \frac{V_{agr\_NMDCM}}{K_e}$
Máxima resistencia	$V_{m\acute{a}x}$ $= 1.25 * V_{agr\_NMDCM}$	$d_{V\ m\acute{a}x}$ $= \frac{V_{agr\_NMDCM}}{0.25 * K_e}$
Degradación de rigidez y resistencia	$V_u = 0.8 * V_{agr\_NMDCM}$	$d_u = \frac{V_{agr\_NMDCM}}{0.1125 * K_e}$

Tabla 2.

Ecuaciones propuestas por Alcocer et al. (2013)

## 4. Resultados y Discusión

Se modelaron y analizaron los muros de mampostería confinada de la campaña experimental a cargo de Cruz (2010). La técnica de modelado empleada ha sido la columna ancha modificada. Los modelos analíticos utilizados para obtener el comportamiento inelástico de los muros fueron los propuestos por Flores & Alcocer (2001) y por Alcocer et al. (2013).

Los muros de la campaña experimental de referencia fueron ensayados considerando una carga axial constante y una carga lateral cíclica reversible. Se observa, en la figura 6, las propiedades geométricas de los elementos confinantes. En la tabla 3 se presenta el esfuerzo axial de cada muro y sus propiedades geométricas. Con el fin de caracterizar correctamente los muros estudiados, las propiedades mecánicas de los muros

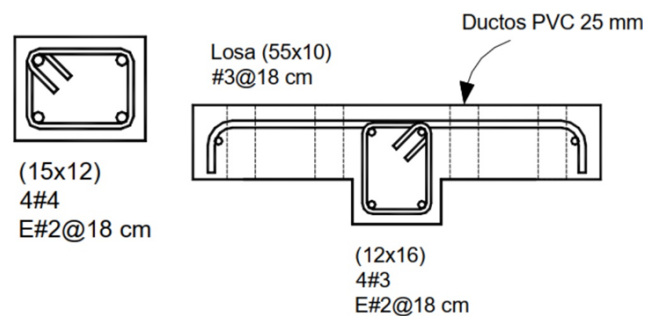


Figura 6.

Propiedades geométricas de los elementos confinantes

ID Muro	Altura (cm)	Longitud (cm)	Relación de aspecto (h/L)	Esfuerzo axial (MPa)
ME1	250	115	2.17	0.5
ME2	250	165	1.52	0.5
ME3	250	207	1.21	0.5

Tabla 3.

Características de los muros estudiados

ID Muro	f'c (kgf/cm²)	Ec (kgf/cm²)	Em (kgf/cm²)	vm (kgf/cm²)	Gm (kgf/cm²)
ME1	335	116075	43347	3.11	4772
ME2	216	103395	44557	3.34	4624
ME3	184	100737	43716	3.52	6484

Tabla 4.

Propiedades mecánicas de los muros estudiados



Los muros estudiados fueron modelados mediante la metodología modificada de la columna ancha con el fin de poder obtener el comportamiento inelástico de los mismos. Para cada uno de los muros modelado, e ilustrado en la figura 7, se incluyó un resorte rotacional multilineal en el que se aportó el modelo analítico correspondiente.

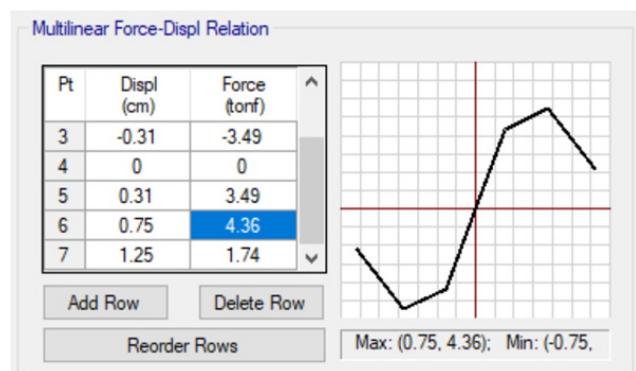


Figura 7.

Definición del resorte rotacional del muro ME1, obtenido de CSI Etab

Con el objetivo de conocer la capacidad de cada muro modelado y así poder comparar con la campaña experimental, se llevó a cabo un análisis estático no lineal incremental. El patrón de carga se indicó a estar en función del primer modo de vibración del muro estudiado ya que tiene un único grado de libertad dinámico. Los resultados obtenidos del análisis estático no lineal incremental utilizando el modelo analítico propuesto por Flores & Alcocer (2001) se muestran en las figuras 8, 9 y 10. El porcentaje de error entre los resultados experimentales y los analíticos se muestran en las tablas 5 y 6.

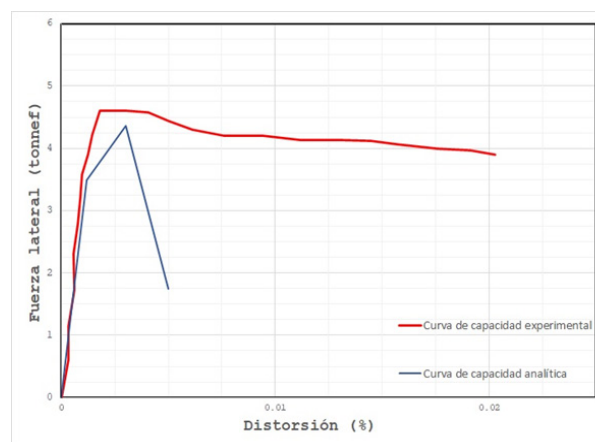


Figura 8.

Curva de capacidad experimental y analítica del muro ME1 con el modelo analítico propuesto por Flores & Alcocer (2001)

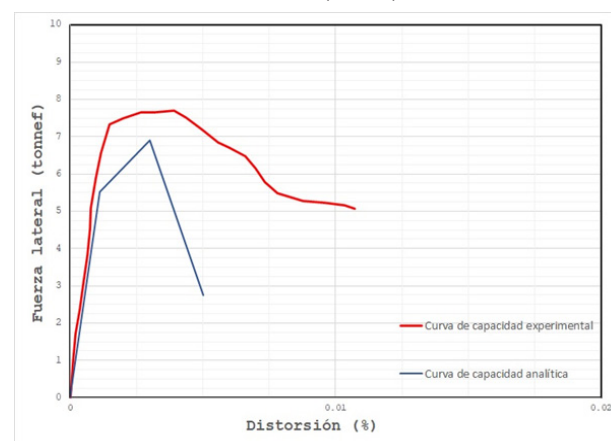


Figura 9.

Curva de capacidad experimental y analítica del muro ME2 con el modelo analítico propuesto por Flores & Alcocer (2001)

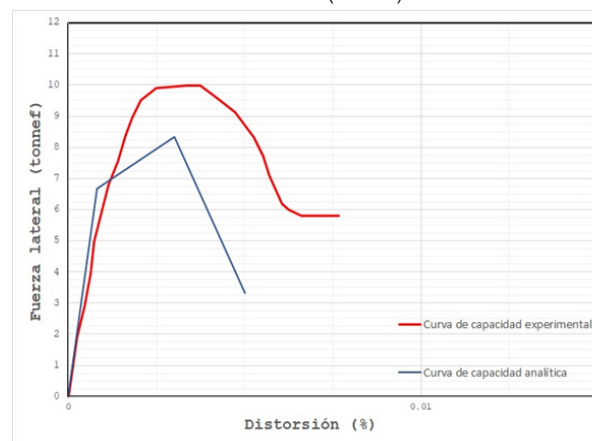


Figura 10.

Curva de capacidad experimental y analítica del muro ME3 con el modelo analítico propuesto por Flores & Alcocer (2001)

ID Muro	Error - cortante en la zona elástica (%)	Error - cortante en la zona de cortante máximo (%)
ME1	24.13	7.23
ME2	24.38	10.39
ME3	25.78	17.33

Tabla 5.

Porcentaje de error de los cortantes en los muros estudiados.

ID Muro	Error - distorsión en la zona elástica (%)	Error - distorsión en la zona de cortante máximo (%)
ME1	33.08	1.14
ME2	25.1	23.39
ME3	56.13	20.00

Tabla 6.

Porcentaje de error de las distorsiones en los muros estudiados

Los resultados obtenidos del análisis estático no lineal incremental utilizando el modelo analítico propuesto por Alcocer et al. (2013) se muestran en las figuras 11, 12 y 13. El porcentaje de error entre los resultados experimentales y los analíticos se muestran en las tablas 7 y 8.

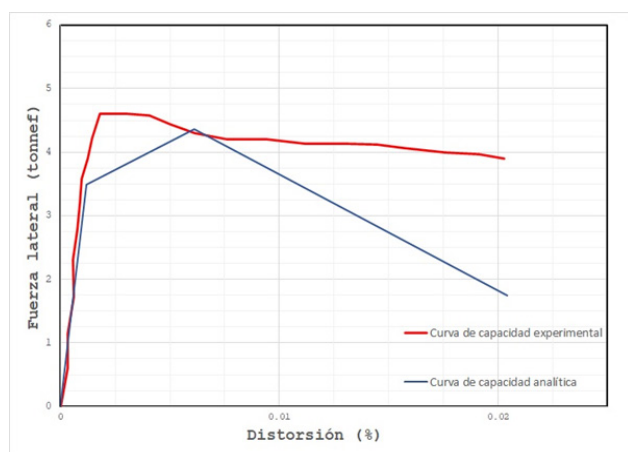


Figura 11.

Curva de capacidad experimental y analítica del muro ME1 con el modelo analítico propuesto por Alcocer et al. (2013)

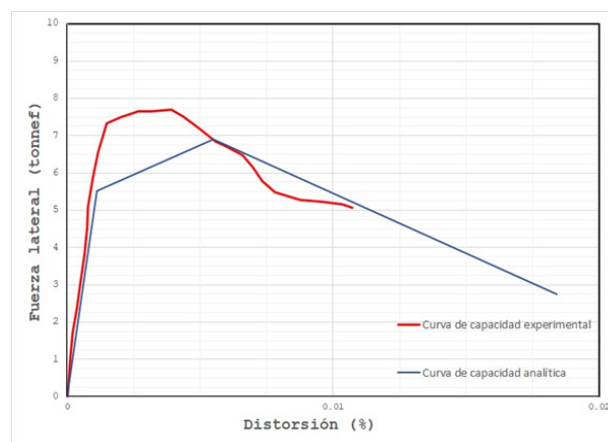


Figura 12.

Curva de capacidad experimental y analítica del muro ME2 con el modelo analítico propuesto por Alcocer et al. (2013)

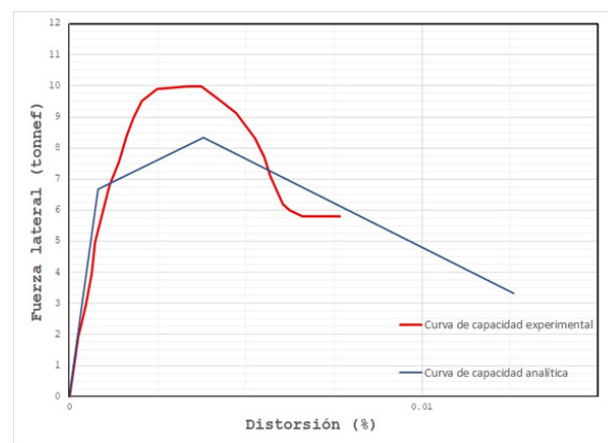


Figura 13.

Curva de capacidad experimental y analítica del muro ME3 con el modelo analítico propuesto por Alcocer et al. (2013)

ID Muro	Error - cortante en la zona elástica (%)	Error - cortante en la zona de cortante máximo (%)
ME1	24.13	7.23
ME2	24.38	10.39
ME3	25.78	17.33

Tabla 7.

Porcentaje de error de los cortantes en los muros estudiados

ID Muro	Error - distorsión en la zona elástica (%)	Error - distorsión en la zona de cortante máximo (%)
ME1	33.08	-101.02
ME2	25.1	-40.45
ME3	56.13	-1.34

Tabla 8.

Porcentaje de error de las distorsiones en los muros estudiados

## 5. Conclusiones

Fue posible llevar a cabo un análisis estático no lineal incremental con resortes rotacionales inelásticos de corte aplicados a muros de mampostería confinada modelados con la metodología modificada de la columna ancha. Además, las curvas de capacidad de la campaña analítica fueron comparadas con las obtenidas a partir de los resultados experimentales de la bibliografía consultada.

La metodología de la columna ancha es muy útil y sencilla para el análisis de muros de mampostería confinada. Cabe destacar que el porcentaje promedio de error obtenido asociado al comportamiento elástico es de un 25% respecto a la respuesta experimental. Esto se puede entender debido al factor de reducción de 0.8 que se utilizó, ya que entonces las respuestas tendrán un  $1/0.8 = 1.25$  de diferencia.

Fue posible determinar, además, que la metodología de la columna ancha sí logra evidenciar la disminución de resistencia en el rango elástico de los muros de mampostería confinada a medida que la relación de aspecto aumenta.

Se observa que, con la ecuación de resistencia al cortante planteada por la Norma Mínima de Diseño y Construcción de Mampostería (MTI, 2017), se calculan capacidades elásticas menores de las que realmente se pueden llegar a desarrollar. Esto llega a estar del lado de la seguridad ya que no se estaría diseñando para cortantes mayores a la capacidad real del muro en cuestión.

De forma general, el modelo analítico propuesto por Flores & Alcocer (2001) resultó en distorsiones más cercanas respecto a la campaña experimental de referencia. De los resultados se concluye, además, que la distorsión última propuesta por Alcocer et al. (2013) no llega a ser adecuada.

## 6. Bibliografía

- Alcocer, S., Hernández, H., & Sandoval, H. (2013). Envoltente de resistencia lateral de piso para estructuras de mampostería confinada. *Revista de Ingeniería Sísmica*(89), 24-54. <https://www.redalyc.org/pdf/618/61829627002.pdf>
- Álvarez, J. J. (1996). *Some topics of the seismic behavior of confined masonry structures*. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering. Elsevier Science Ltd.
- Beyer, K., & Priestley, M. (2008). Inelastic wide -Column Models for U-Shaped reinforced concrete walls. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-33. doi:<https://doi.org/10.1080/13632460801922571>
- Cruz Sagastume, O. (2010). Ensayes de 7 muros de mampostería confinada a escala natural de distinta longitud y con piezas multi perforadas de arcilla. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México. [https://repositorio.unam.mx/contenidos/ensayos-de-7-muros-de-mamposteria-confinada-a-escala-natural-de-distinta-longitud-y-con-piezas-multiperforadas-de-arci-3429602?c=rOwgPZ&d=false&q=\\*&i=3&v=1&t=search\\_0&as=0](https://repositorio.unam.mx/contenidos/ensayos-de-7-muros-de-mamposteria-confinada-a-escala-natural-de-distinta-longitud-y-con-piezas-multiperforadas-de-arci-3429602?c=rOwgPZ&d=false&q=*&i=3&v=1&t=search_0&as=0)
- Fernández, L., Sosa, M., & Varela, J. (2014). *Resistencia en el plano de muros de mampostería confinada: Efecto de la relación de aspecto*. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.
- Flores Corona, L. (1995). Estudio analítico de estructuras de mampostería confinada. [Tesis para optar al título de Ingeniero Civil] Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, UNAM <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3518485>

- Hidalgo, P. A., Mayes, H. D., McNivel, & Clough, R. W. (1978). *Cyclic loading tests of masonry piers*, Volume 1 - height to width ratio of 2. UCB/EERC-78/27. doi:<https://doi.org/10.5459/bnzsee.15.1.3-21>
- Hidalgo, P. A., Mayes, H. D., McNivel, & Clough, R. W. (1979). *Cyclic loading tests of masonry piers*, Volume 3 - height to width ratio of 0.5. UCB/EERC-79/12. doi:<https://doi.org/10.5459/bnzsee.15.1.3-21>
- Ishibashi, K., & Kastumata, H. (1994). A study on nonlinear finite element analysis of confined masonry walls. Cuaderno de Investigación(15). <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Febrero2004/pdf/eng/doc8505/doc8505.pdf>
- Matsumura, A. (1998). Shear strength of reinforced masonry walls. Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, VI, págs. 121-126. [https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/9\\_vol6\\_121.pdf](https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/9_vol6_121.pdf)
- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2017). *Norma mínima de diseño y construcción de mampostería*. [https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/norma-minima-mamposteria\\_mti-mp-001.pdf](https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/norma-minima-mamposteria_mti-mp-001.pdf)
- Pérez Gavilán, J. J., Flores, L., & Alcocer, S. (2013). Efecto de la esbeltez en la resistencia de muros de mampostería confinada. *Revista de Ingeniería Sísmica*(89), 55-76. <https://www.redalyc.org/pdf/618/61829627003.pdf>
- Riahi, Z., Elwood, K. J., & Alcocer, S. M. (2009). Backbone model for confined masonry walls for performance-based seismic design. *Journal of Structural Engineering*, 135, 644-654. doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000012](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000012)
- Ruiz García, J., Sánchez Pérez, T., & Alcocer, M. (1998). Desempeño experimental de estructuras de mampostería confinada rehabilitadas mediante el uso de malla de alambre. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 59, 59-79. <https://www.smis.mx/indez.php/RIS/article/download/222/160>
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta ed.). McGrawHill Educación. <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>
- Sánchez, S., Arroyo, R., & Jerez, S. (2010). Modelo de un grado de libertad para evaluar la curva carga lateral-distorsión en muros de mampostería confinada. *Revista de Ingeniería Sísmica*(83), 25-42. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n83/n83a2.pdf>
- Siete, B. J. (2011). Fragilidad basada en desplazamientos para edificaciones de mampostería confinada. [Tesis de Maestría]. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/4031](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4031)
- Tomažević, M. (1999). Earthquake resistant design of masonry buildings. Series of Innovation in Structures and Construction. Imperial College Press. doi:<https://doi.org/10.1142/p055>
- Tomažević, M., & Klemenc, I. (1998). Seismic behaviour of confined masonry walls. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 26(10), 1059-1071. doi:[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199710\)26:10%3C1059AID-EQE694%3E3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199710)26:10%3C1059AID-EQE694%3E3.0.CO;2-M)
- Zúñiga, O., & Terán, A. (2008). Evaluación basada en desplazamientos de edificaciones de mampostería confinada. *Revista de Ingeniería Sísmica*(79), 25-48. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2008000200002](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2008000200002)