



---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**“Procedimiento de escalamiento para muros confinados  
de CCA sujetos a cargas laterales”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ARQ. LEYDI JANINE XACUR CHAC**

**EN OPCIÓN AL GRADO DE**

**MAESTRA EN INGENIERÍA**

**OPCIÓN ESTRUCTURAS**

**MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO**

**2020**

Aunque este trabajo hubiere servido para el Examen de Grado y hubiera sido aprobado por el sínodo, sólo el autor es responsable de las doctrinas emitidas en él.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Maestría en Ingeniería, opción Estructuras. Adicionalmente, agradezco al CONACYT por el apoyo otorgado para el desarrollo de mi tesis a través del proyecto de Ciencia Básica “Muros confinados de concreto celular de autoclave sujetos a cargas laterales” con clave 288718.

## RESUMEN

El concreto celular de autoclave (CCA) es un material ligero prefabricado. Se produce en clases con resistencia a compresión entre  $20 \text{ kg/cm}^2$  y  $60 \text{ kg/cm}^2$ . Las estructuras de mampostería son ampliamente utilizadas en México. Estas estructuras están formadas principalmente por muros de mampostería y losas. Los muros se construyen con diferentes tipos de piezas, como son los bloques de concreto, tabiques de arcilla y bloques de CCA. En México se cuenta con normas técnicas para el diseño de estructuras de mampostería. Sin embargo, los requisitos de estas normas se establecieron para muros construidos con piezas de concreto o arcilla.

Para estudiar el comportamiento de estructuras ante diversas cargas sería deseable ensayar estructuras a escala natural. Lo anterior es difícil debido a limitaciones económicas y de espacio en los laboratorios. Una alternativa ha sido el ensaye de estructuras a escala reducida. Previo a dichos ensayos, se recomienda estudiar sus componentes individuales, como son los muros. Para esto, se requiere un procedimiento de escalamiento, un sistema de carga a escala reducida y establecer las relaciones entre el comportamiento de los muros a escala reducida y natural.

El objetivo de este trabajo fue proponer un procedimiento de escalamiento para muros confinados de CCA sujetos a cargas laterales. Se realizó una revisión de la literatura sobre: (1) métodos de escalamiento, (2) estudios de estructuras de mampostería a escala reducida, (3) estudios de muros de mampostería a escala reducida, (4) estudios de estructuras de CCA a escala natural y (5) estudios de muros confinados de CCA a escala natural. Se realizó un análisis detallado de la revisión de la literatura donde se identificaron diferentes parámetros de escalamiento.

Se propuso un procedimiento de escalamiento. Se asume que los muros se construirán con bloques de CCA y se ensayarán utilizando cargas laterales cíclicas reversibles. Este procedimiento incluye nueve recomendaciones para escalar los muros.

## ABSTRACT

Autoclaved Aerated Concrete (AAC) is a lightweight prefabricated material. AAC is produced in classes with compressive strengths between 20 kg/cm<sup>2</sup> and 60 kg/cm<sup>2</sup>. Masonry structures are widely used in Mexico. These structures are mainly made of masonry walls and slabs. Walls are constructed using different type of units, as concrete blocks, clay bricks and AAC blocks. In Mexico, there are technical standards for the design of masonry structures. Nevertheless, the requirements of these standards were developed for walls constructed with concrete or clay units.

In order to study the behavior of structures subjected to different loads, it is desirable to test full-scale structures. This is difficult because of economic and space limitations in the laboratories. An option has been the testing of reduced-scale structures. Previous to those testings, it is recommended to study the behavior of the structure individual components, for example, the walls. For this purpose, it is required: a scaling procedure, a reduced-scale load system and to establish the relationship between the behavior of the reduced-scale and natural-scale walls.

The objective of this work was to propose a scaling procedure for AAC confined walls subjected to lateral loads. A literature review was carried out on: (1) scaling techniques, (2) studies related with reduced-scale masonry structures (3) studies related with reduced-scale masonry walls, (4) full-scale AAC structures and (5) full-scale AAC confined walls. An analysis of the literature review was conducted to identify different scaling parameters.

A scaling procedure was proposed. It is assumed that the walls will be constructed using AAC blocks and will be tested using reverse cyclic lateral loads. This procedure includes nine recommendations for scaling the walls.

# CONTENIDO

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Objetivo .....	4
1.3 Alcance .....	4
1.4 Contenido.....	4
CAPÍTULO 2 REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	6
2.1 Métodos de escalamiento.....	6
2.2 Estudios de estructuras de mampostería a escala reducida .....	10
2.3 Estudios de muros de mampostería a escala reducida.....	23
2.4 Estudios de estructuras de mampostería de CCA a escala natural.....	27
2.5 Estudios de muros confinados de CCA a escala natural.....	28
CAPÍTULO 3 DISCUSIÓN SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS DE ESCALAMIENTO .....	31
3.1 Escalas utilizadas en estructuras y muros .....	31
3.2 Dimensiones de muros a escala reducida .....	32
3.3 Dimensiones de piezas.....	32
3.4 Espesor de juntas de mortero.....	32
3.5 Acero de refuerzo .....	33
3.6 Propiedades mecánicas .....	35
CAPÍTULO 4 PROPUESTA ESCALAMIENTO PARA MUROS CONFINADOS DE CCA.....	37
4.1 Procedimiento de escalamiento.....	37
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES.....	41
CAPÍTULO 6 BIBLIOGRAFÍA.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Curva esfuerzo-deformación de los materiales utilizados en el modelo de similitud completa (a) y simple (b) (Tomažević et al. 1992).....	9
Figura 4.1. (a) Bloque de CCA. (b) Orden de los cortes para una escala 1:2. ....	38
Figura 4.2. Primer corte (transversal) para una escala 1:2. ....	38
Figura 4.3. Segundo corte (longitudinal) para una escala 1:2. ....	38
Figura 4.4. (a) Tercer corte (longitudinal) para una escala 1:2. (b) Pieza a escala 1:2 .....	39
Figura 4.5. Especificación de juntas de mortero hidráulico y de pared delgada. (a) Muro a escala natural y (b) muro a escala 1:2. ....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Factores de escala para modelos dinámicos (Tomažević et al. 1992) ...	9
Tabla 3.1. Detalles del acero de refuerzo de muros confinados.....	34
Tabla 3.2. Detalles del acero de refuerzo de muros reforzados interiormente. ....	34
Tabla 3.3. Resistencias del concreto para muros confinados y muros diafragma.	36
Tabla 3.4. Resistencias del concreto para muros reforzados interiormente .....	36
Tabla 4.1. Espesor de juntas de mortero hidráulico para diferentes escalas. ....	40

# CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Generalidades

El concreto celular de autoclave (CCA) es un material ligero compuesto por cemento Portland, cal, arena sílica, yeso, agua y aluminio en polvo. El CCA se fabrica mezclando los componentes anteriores en un molde metálico hasta formar una mezcla fluida. El aluminio en polvo funciona como un agente expansivo, por lo tanto, la mezcla incrementa su volumen entre dos y tres veces en 4 horas aproximadamente. Después de la expansión, la mezcla es capaz de soportar su peso propio y mantener su forma. Posteriormente, se retira el molde y se corta la mezcla para formar las piezas deseadas. Las piezas se introducen en un autoclave entre 8 y 12 horas. La presión y temperatura dentro del autoclave son de aproximadamente  $12 \text{ kg/cm}^2$  y  $180^\circ\text{C}$ , respectivamente. Finalmente, las piezas se retiran del autoclave, se empaican y están listas para su uso.

El CCA se produce en clases con resistencias a compresión entre  $20 \text{ kg/cm}^2$  y  $60 \text{ kg/cm}^2$  y densidades entre  $400 \text{ kg/m}^3$  y  $700 \text{ kg/m}^3$  (ASTM C 1693). Entre los principales tipos de piezas se encuentran los bloques y los paneles. Los bloques pueden ser sólidos o con perforaciones. Los paneles pueden ser horizontales o verticales, en ambos casos con acero de refuerzo interior.

El CCA se fabricó comercialmente por primera vez en Suecia en 1929. Su uso se ha extendido a más de 40 países en todo el mundo, entre los que se encuentran Alemania, Francia, Inglaterra, Holanda, Portugal, China, Estados Unidos de América y México. Su uso en Estados Unidos de América comenzó en 1990 y en México en 1994. En nuestro país, el CCA se utiliza en Nuevo León, Ciudad de México, Puebla, Guanajuato, San Luis Potosí, Tamaulipas, Estado de México y Yucatán, entre otros.

Las estructuras de mampostería son utilizadas en México para la construcción de viviendas, oficinas y hoteles, entre otros. Estas estructuras están formadas principalmente por muros de mampostería y losas. Los muros de mampostería confinada son los más utilizados debido a su bajo costo y facilidad constructiva.

Estos muros se construyen con diferentes tipos de piezas, entre los que se encuentran los bloques de concreto, los tabiques de arcilla y en los últimos años, los bloques de CCA. A su vez, las losas pueden ser macizas o construidas con elementos prefabricados. Para el caso de estructuras de CCA se utilizan losas prefabricadas construidas con paneles machihembrados de CCA y elementos de concreto reforzado transversales y perimetrales.

En México se cuenta con normas técnicas para el diseño de estructuras de mampostería (NTCM) (GCM, 2017). En estas normas se establecen los requisitos para el diseño de muros reforzados interiormente y confinados, entre otros. Los requisitos de estas normas se establecieron para muros construidos con piezas de concreto o arcilla. Por otro lado, en los Estados Unidos de América se cuenta con un reglamento para el diseño de estructuras de mampostería de CCA (ACI 530-13). Sin embargo, en este reglamento sólo se consideran muros de CCA no reforzados y reforzados interiormente.

Para estudiar el comportamiento de estructuras ante diversas cargas sería deseable ensayar especímenes a escala natural. Lo anterior es difícil debido a limitaciones económicas y de espacio en los laboratorios. Una alternativa es el ensaye de estructuras a escala reducida. Para evaluar el comportamiento de estas estructuras, sería recomendable ensayar primero sus componentes individuales, como son los muros. Para esto, se requiere un procedimiento de escalamiento, un sistema de carga a escala reducida y establecer las relaciones entre el comportamiento de los muros a escala reducida y natural. Por ejemplo, se requiere la relación entre la resistencia y la rigidez de muros a escala reducida y natural.

Se encontró que existen estudios sobre el comportamiento en el plano de estructuras de mampostería a escala reducida (Tomažević 1987; Tomažević y Modena 1988; Abrams y Paulson 1991; Tomažević y Weiss 1991; San Bartolomé et al. 1992; Kwan et al. 1995; Costley y Abrams 1996; Benedetti et al. 1998; Alcocer et al. 1999; Arias 2005; Barragán 2005; Vázquez 2005, San Bartolomé et al. 2009; Bothara et al. 2010; Tomažević y Gams 2012, Lourenço et al. 2013). En estos estudios se consideraron muros confinados, muros reforzados interiormente, muros

no reforzados interiormente y muros diafragma. Se observó que, para el caso de CCA, solo se encontró un estudio donde se ensayaron estructuras de tres y cuatro niveles construidas con muros reforzados interiormente (Tomažević y Gams 2012).

A su vez, existen estudios sobre el comportamiento en el plano de muros de mampostería a escala reducida (Tomažević et al. 1996; Tomažević y Klemenc 1997; Tomažević y Gams 2012; Bose y Rai 2014; Restrepo-Vélez et al. 2014; Zhenggang et al. 2017). En estos estudios se consideraron muros confinados, muros reforzados interiormente, muros no reforzados interiormente y muros diafragma. Se observa que, para el caso de CCA, se encontró un estudio donde se ensayaron muros reforzados interiormente (Tomažević y Gams 2012) y dos estudios donde se ensayaron muros diafragma (Bose y Rai 2014; Zhenggang et al. 2017).

Por otro lado, se encontraron dos estudios sobre el comportamiento en el plano de estructuras de CCA a escala natural (Tanner et al. 2005, Gokmen et al. 2019). En ambos casos se consideraron estructuras de dos niveles con muros reforzados interiormente. Se encontraron también estudios sobre el comportamiento en el plano de muros de mampostería de CCA a escala natural (Yu et al. 2013; Pinto 2018; Varela et al. 2018; Fernández 2019; Naal 2019; Ricalde 2019). En estos trabajos se consideraron únicamente muros confinados.

Se encontró que existen diferentes procedimientos de escalamiento. Sin embargo, los parámetros que definen un procedimiento de escalamiento son en general conocidos. Para el caso de muros confinados de CCA, no se encontró un procedimiento de escalamiento específico. Se requiere desarrollar dicho procedimiento para poder ensayar muros confinados de CCA a escala reducida. Con los resultados obtenidos, se pretende establecer las relaciones entre el comportamiento de los muros a escala reducida y natural. La información obtenida servirá como base para desarrollar un procedimiento similar para estructuras de mampostería confinada de CCA a escala reducida.

Por otro lado, se observó que no existen estudios sobre el comportamiento en el plano de estructuras a escala reducida construidas con muros confinados de CCA. Tampoco se encontraron estudios sobre el comportamiento en el plano de muros

confinados de CCA a escala reducida. Se observa que en los trabajos donde se consideran especímenes a escala reducida, no se relaciona el comportamiento de las estructuras o de los muros con sus correspondientes a escala natural, es decir se acepta de manera implícita que el comportamiento a escala natural y reducida es similar.

## **1.2 Objetivo**

Proponer un procedimiento de escalamiento para muros confinados de CCA sujetos a cargas laterales.

## **1.3 Alcance**

Esta tesis forma parte de un proyecto de investigación cuyo objetivo es evaluar el comportamiento de estructuras de mampostería de CCA a escala reducida sujetas a cargas laterales. En la primera parte del proyecto se considera el ensaye de muros a escala reducida con comportamiento dominado por flexión y cortante. Para lo anterior en esta tesis se desarrolló un procedimiento para escalar muros confinados de CCA. A su vez, en la tesis de Molina (2020) se diseñó y construyó un sistema de carga para el ensaye de dichos muros (Molina, 2020).

## **1.4 Contenido**

Este trabajo está conformado por cinco capítulos, organizados de la siguiente manera:

Capítulo 1. Introducción. Se incluyen las generalidades, el objetivo general, objetivos específicos y el alcance de este trabajo.

Capítulo 2. Revisión de la literatura. Se muestra primeramente la revisión de literatura sobre métodos de escalamiento. Posteriormente, sobre ensayos experimentales de estructuras y muros de mampostería a escala reducida. Finalmente, sobre ensayos experimentales de estructuras de CCA y muros confinados de CCA, ambos a escala natural. La revisión de la literatura se realizó en conjunto con Molina (2020).

Capítulo 3. Se presenta la discusión de la revisión de la literatura sobre los procedimientos de escalamiento. Esta se realizó analizando las escalas utilizadas en estructuras y muros, las dimensiones de muros a escala reducida, las dimensiones de piezas a escala reducida, el espesor de juntas de mortero, el acero de refuerzo y propiedades mecánicas de los materiales. Se compararon las diferencias y similitudes entre autores.

Capítulo 4. Se indica la propuesta de la metodología para el escalamiento de muros confinados de CCA con base a las discusiones realizadas en el capítulo 3. Se asume que los muros se construirán con bloques sólidos de CCA y se ensayarán utilizando cargas laterales cíclicas reversibles.

Capítulo 5. Se presentan las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

## CAPÍTULO 2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

Se realizó una revisión de literatura dividida en cinco partes. La primera se enfocó en métodos de escalamiento. La segunda en estudios de estructuras de mampostería a escala reducida. La tercera en estudios de muros de mampostería a escala reducida. La cuarta en estudios de estructuras de CCA a escala natural. La quinta en muros confinados de CCA a escala natural.

### 2.1 Métodos de escalamiento

Los primeros modelos a escala reducida se utilizaron como una ayuda para planear y construir estructuras. La mayoría de los modelos a escala que se utilizan hoy en día sirven para estudiar el comportamiento de las estructuras. Los modelos a escala reducida deben definirse utilizando leyes de similitud (Janney et al. 1970). En ingeniería, se utilizan las similitudes físicas y el análisis dimensional tanto para mecánica de materiales como de fluidos. La similitud física es un término general que engloba diferentes tipos de similitudes. Los principales tipos son la similitud geométrica, la cinemática y la dinámica.

La similitud geométrica toma en cuenta la forma, es decir, si los objetos a analizar son figuras planas, cuerpos sólidos o patrones de fluidos. Las características específicas de este tipo de similitud son las longitudes. La relación de longitudes debe corresponder entre el prototipo y el modelo. Esta relación es usualmente conocida como factor de escala. En general se recomienda utilizar la escala más cercana a la natural (Caccese et al., 1990; Elnashai et al., 1990).

La similitud cinemática toma en cuenta el movimiento. Las características específicas de este tipo de similitud son las longitudes (considera la similitud geométrica) y los intervalos de tiempo. Como la relación de longitudes entre el prototipo y el modelo están en una relación fija, también los intervalos de tiempo y las velocidades deben corresponder. Por ejemplo, si la relación de longitudes es  $r_l$  y la relación de tiempo es  $r_t$ , entonces las magnitudes de velocidades se producen en la relación  $r_l / r_t$  y las magnitudes de aceleraciones en  $r_l / r_t^2$ .

La similitud dinámica toma en cuenta las fuerzas. Se usa para estudiar la vibración o los efectos de las cargas dinámicas en las estructuras. Este tipo de similitud considera que las magnitudes de las fuerzas están ubicadas en puntos similares creando una relación fija. Por lo tanto, la relación de magnitud de dos fuerzas en el prototipo debe ser la misma que sus correspondientes en el modelo y viceversa. Para lograr la similitud dinámica, se requiere cumplir con diversos requisitos (viscosidad, atracción gravitacional, diferencias de presión y elasticidad, entre otros) lo cual es difícil de cumplir simultáneamente. Afortunadamente, en la mayoría de los casos, algunas de las fuerzas no aplican o tienen un efecto despreciable. Por esta razón se pueden considerar las fuerzas más importantes para lograr la similitud dinámica.

El análisis dimensional es el que establece las relaciones entre cantidades físicas y unidades de medida. Las cantidades físicas pueden ser descritas con magnitudes fundamentales (por ejemplo: masa, longitud, tiempo y temperatura), existiendo entonces cantidades físicas simples y compuestas (por ejemplo: la velocidad, cantidad física compuesta, comprende longitud y tiempo, cantidades físicas simples). Por lo tanto, el análisis dimensional establece que cualquier ecuación que describa algún fenómeno de la naturaleza debe ser dimensionalmente homogénea. Esta condición es utilizada en el Teorema *II* de Buckingham. Este teorema es uno de los teoremas básicos del análisis dimensional, donde se establece que cualquier ecuación dimensionalmente homogénea que involucre  $n$  cantidades físicas (Ecuación (2.1)) puede ser reducida a una ecuación equivalente que implique  $n-m$  productos dimensionales independientes (Ecuación (2.2)). Las magnitudes fundamentales o dimensiones independientes,  $m$ , son normalmente tres para problemas de tipo mecánico (masa, longitud y tiempo) y para problemas de tipo térmico (masa, longitud, tiempo y temperatura), sin embargo, pueden ser menos o más.

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (2.1)$$

$$F(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}) = 0 \quad (2.2)$$

Se obtiene que  $\pi_1$  a  $\pi_{n-m}$  son productos dimensionales independientes de las cantidades físicas  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Ya que (2.1) no se puede realizar analíticamente, el Teorema *II* indica que es necesario definir el número de variables físicas,  $n$ , posteriormente encontrar las magnitudes fundamentales de ellas,  $m$ . A continuación, se realiza  $n-m$  para obtener el número de parámetros adimensionales,  $\pi$ . Finalmente se obtienen las nuevas ecuaciones (2.2), lo cual permitirá reducir el número de experimentos que se quieren realizar.

Para llevar a cabo el análisis dimensional, es necesario decidir qué variables afectan el resultado. Por otro lado, no es necesario usar variables que no influyen en éste. Así mismo, hay que tener en cuenta la posibilidad de que algunas variables tengan un efecto indirecto sobre el problema, por ejemplo, la temperatura.

La modelación estructural aplica los principios del análisis dimensional para determinar los factores de escala de las cantidades físicas involucradas. El factor de escala establece una relación de similitud entre las cantidades físicas del prototipo y del modelo (Ecuación (2.3)).

$$q_P = q_M S_i \quad (2.3)$$

Donde  $q_P$  y  $q_M$  son la cantidad física en el prototipo y modelo, respectivamente y  $S_i$  es el factor de escala.

Por ejemplo, Tomaževič et al. (1992) observaron que la relación de cantidades entre el prototipo y el modelo dependen de los materiales usados para la construcción del modelo. Con base en eso, propusieron dos casos para la modelación dinámica de estructuras de mampostería. El primer caso fue el modelo de similitud completa, donde los materiales de la estructura escalada son manufacturados para que el diagrama esfuerzo-deformación unitaria se encuentre escalado geoméricamente en la dirección de los esfuerzos. Esto implica que la resistencia del modelo debe ser reducida por el factor de escala, mientras que, su deformación debe permanecer igual que la del prototipo (Figura 2.1a). El segundo caso fue el modelo de similitud simple, donde la estructura escalada se construye con los mismos materiales del prototipo y solamente se hacen variar las dimensiones. Sin embargo, la aceleración

aplicada al modelo debe ser escalada por el inverso del factor de escala escogido. Esto da como resultado que la aceleración del modelo siempre será mayor que la de prototipo (Figura 2.1b).

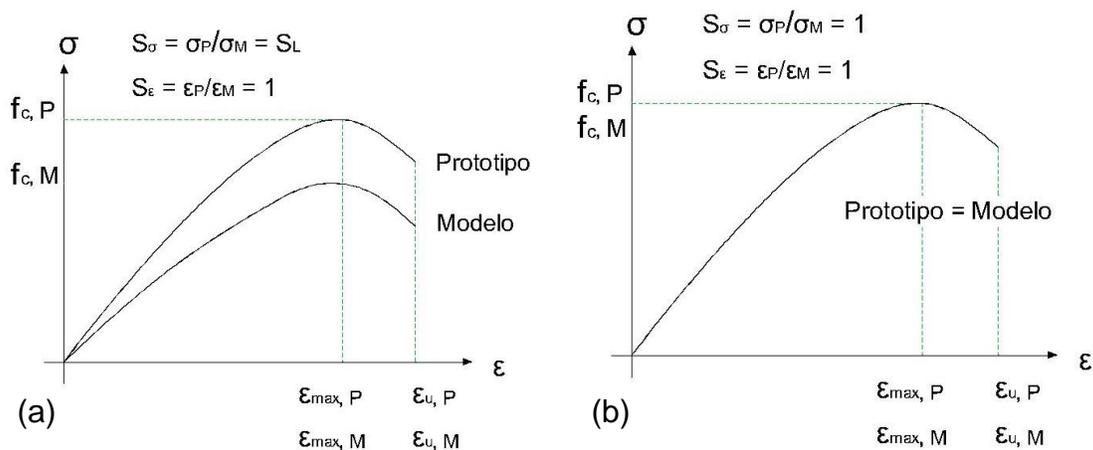


Figura 2.1. Curva esfuerzo-deformación de los materiales utilizados en el modelo de similitud completa (a) y simple (b) (Tomažević et al. 1992)

En la Tabla 2.1 se muestran los parámetros utilizados para el diseño de modelos dinámicos tanto de similitud completa como de similitud simple.

Tabla 2.1. Factores de escala para modelos dinámicos (Tomažević et al. 1992)

Cantidad	Expresión general	Modelo de similitud completa	Modelo de similitud simple
Longitud	$S_L = L_p / L_M$	$S_L$	$S_L$
Deformación	$S_\epsilon = \epsilon_p / \epsilon_M$	1	1
Resistencia	$S_f = f_p / f_M$	$S_L$	1
Esfuerzo	$S_\sigma = f_p / f_M$	$S_L$	1
Módulo de elasticidad	$S_E = S_\sigma / S_\epsilon$	$S_L$	1
Peso específico	$S_\Gamma = \Gamma_p / \Gamma_M$	1	1
Fuerza	$S_F = S_L^2 S_f$	$S_L^3$	$S_L^2$
Tiempo	$S_t = S_L \sqrt{S_\Gamma S_\epsilon / S_f}$	$\sqrt{S_L}$	$S_L$
Frecuencia	$S_w = 1 / S_t$	$1 / \sqrt{S_L}$	$1 / S_L$
Desplazamiento	$S_d = S_L / S_\epsilon$	$S_L$	$S_L$
Velocidad	$S_v = S_\epsilon \sqrt{S_f / S_\Gamma}$	$\sqrt{S_L}$	1
Aceleración	$S_a = S_f / S_L S_\Gamma$	1	$1 / S_L$

## 2.2 Estudios de estructuras de mampostería a escala reducida

Tomažević (1987) evaluó el comportamiento de una estructura de cuatro niveles en una mesa vibratoria. La estructura se construyó a escala 1:7. Se pretendió utilizar similitud dinámica completa, aunque no se alcanzó totalmente. Las dimensiones en planta fueron de 71.2 cm x 42.7 cm (largo x ancho). La estructura estuvo formada por muros de mampostería reforzada y losas de concreto reforzado. La altura de los muros fue de 34.8 cm por nivel. El espesor de los muros fue de 4.2 cm. El espesor de las losas fue de 3 cm. Los muros se construyeron utilizando tabiques acanalados de arcilla. Los tabiques se fabricaron a escala reducida, con dimensiones de 4.2 cm x 2.8 cm x 5.6 cm (ancho x altura x longitud). Se colocó refuerzo horizontal el cual consistió en un alambre de aluminio de 1 mm de diámetro entre cada hilada. La resistencia a la fluencia del aluminio de refuerzo fue de 669.14 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de las piezas a escala reducida fue de 19.37 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de la mampostería fue de 12.75 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de pilas con dimensiones de 4.2 cm x 14.2 cm x 31.8 cm (ancho x longitud x altura). La resistencia a compresión del mortero fue de 10.50 kg/cm<sup>2</sup>. La estructura tuvo un comportamiento dominado por cortante. Se observaron grietas verticales en las esquinas de los muros. Posteriormente se observó agrietamiento diagonal en los muros. La falla de la estructura se determinó por el colapso de uno de los muros del primer nivel.

Tomažević y Modena (1988) evaluaron el comportamiento de dos estructuras de tres niveles en una mesa vibratoria. Las estructuras se construyeron a escala 1:5. Se utilizó similitud dinámica simple. Las dimensiones en planta fueron de 180 cm x 140 cm (largo x ancho). Las estructuras estuvieron formadas por muros de mampostería reforzada y losas prefabricadas. La primera estructura tuvo una columna central y la segunda, muros ortogonales centrales. La altura de los muros fue de 53.3 cm por nivel. El espesor de los muros fue de 5.5 cm. Las losas estuvieron apoyadas en vigas de concreto, con un espesor final de 4 cm. Los muros se construyeron utilizando tabiques huecos de arcilla y mortero en proporción por volumen 1:2:9 (cemento : cal: arena). Los tabiques se cortaron a partir de piezas a

escala natural. La resistencia a compresión promedio del concreto fue de 261.97 kg/cm<sup>2</sup>. El acero de refuerzo longitudinal de las vigas consistió en 4 barras de 3.1 mm de diámetro. El acero de refuerzo longitudinal de la columna central consistió en 4 barras de 4.2 mm de diámetro y estribos de 1.1 mm de diámetro a cada 2.0 cm. Se colocó acero de refuerzo vertical en las intersecciones y los extremos de los muros, el cual consistió en 4 barras y 2 barras, respectivamente. Las barras fueron de 2.3 mm de diámetro. Adicionalmente, se utilizó acero de refuerzo horizontal, el cual consistió en una barra de 1.1 mm de diámetro a cada dos hiladas. La resistencia a la fluencia de las barras de 4.2 mm, 3.1 mm y 2.3 mm de diámetro fue de 3,987.09 kg/cm<sup>2</sup>, 3,293.68 kg/cm<sup>2</sup> y 948.34 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. La resistencia a compresión de las piezas a escala reducida fue de 9.36 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de la mampostería fue de 64.55 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión promedio del mortero fue de 23.40 kg/cm<sup>2</sup>. El tamaño máximo del agregado grueso del concreto fue de 4 mm. El tamaño máximo del agregado fino del mortero fue de 2 mm. Los muros de la primera estructura tuvieron un comportamiento dominado por cortante-flexión combinado. Se observaron grietas horizontales en la base de los muros del primer nivel. Posteriormente, se observaron agrietamientos y la fluencia del acero en las uniones de los muros con los entrepisos en todos los niveles. Adicionalmente, se observaron grietas horizontales en los extremos de la columna central. Las esquinas de la estructura sufrieron pandeo del refuerzo vertical, la columna central se aplastó y los muros fallaron por cortante. Los muros de la segunda estructura tuvieron un comportamiento dominado por cortante. Se observaron grietas diagonales en la base de los muros del primer nivel. Posteriormente se observaron agrietamientos verticales en la unión de los muros con los entrepisos y agrietamientos diagonales en los muros del segundo nivel. Las esquinas de la estructura sufrieron pandeo del refuerzo vertical, la columna central se aplastó y los muros fallaron por cortante. La falla de la estructura se asoció al excesivo agrietamiento.

Abrams y Paulson (1991) evaluaron el comportamiento de dos estructuras de tres niveles. La primera se ensayó en una mesa vibradora y la segunda ante cargas laterales cíclicas reversibles. Las estructuras se construyeron a escala 1:4. Las

dimensiones en planta fueron de 142.24 cm x 106.68 cm (largo x ancho). Las estructuras estuvieron formadas por muros de mampostería reforzada y losas de concreto reforzado. La altura de los muros fue de 71.12 cm por nivel. El espesor de los muros fue de 4.8 cm. El espesor de las losas fue de 7.62 cm. Los muros se construyeron utilizando bloques huecos de concreto y mortero Tipo S en proporción por volumen 1:0.21:3.83 (cemento : cal: arena). Los bloques se fabricaron a escala reducida, con dimensiones de 4.8 cm x 4.8 cm x 10.16 cm (ancho x altura x longitud). El espesor de la junta de mortero fue de 2.5 mm. Se colocó acero de refuerzo vertical en los muros, el cual consistió en una barra de 3 mm de diámetro. El espaciamiento de dicho refuerzo fue a cada 10.2 cm a lo largo de la longitud. Adicionalmente, se utilizó acero de refuerzo horizontal, el cual consistió en una barra de 3 mm de diámetro. El espaciamiento de dicho refuerzo varió entre una y tres hiladas. La resistencia a compresión promedio de la mampostería fue de 85.65 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de pilas con dimensiones de 4.8 cm x 10.16 cm x 19.4 cm (ancho x longitud x altura). Los muros se rellenaron utilizando concreto sin agregado grueso. El tamaño máximo del agregado fino del mortero de las juntas fue de 1.1 mm. El comportamiento de ambas estructuras fue inicialmente dominado por flexión. Se observaron grietas horizontales en la base de los muros. Posteriormente, se observó un comportamiento dominado por cortante. Se observaron grietas diagonales en los muros extremos. La capacidad de deformación de los muros estuvo limitada por los agrietamientos diagonales. El comportamiento de la estructura ensayada en la mesa vibradora fue en general mejor que la ensayada ante cargas laterales cíclicas reversibles.

Tomažević y Weiss (1991) evaluaron el comportamiento de dos estructuras de tres niveles en una mesa vibradora. Las estructuras se construyeron a escala 1:5. Se utilizó similitud dinámica simple. Las dimensiones en planta fueron de 180 cm x 140 cm (largo x ancho). La primera estructura estuvo formada por muros de mampostería reforzada y la segunda por muros de mampostería no reforzada. La altura de los muros fue de 53.3 cm por nivel. El espesor de los muros fue de 5.5 cm. El espesor de las losas de concreto reforzado fue de 4 cm. Se colocó acero

de refuerzo vertical en las intersecciones y los extremos de los muros, el cual consistió en 2 barras de 3 mm de diámetro. Adicionalmente, se utilizó acero de refuerzo horizontal, el cual consistió en una barra de 1.0 mm de diámetro a cada dos hiladas. Los muros de la estructura de mampostería reforzada tuvieron un comportamiento dominado por cortante y cortante-flexión combinado. Se observaron grietas diagonales en los muros del primer nivel, las cuales se observaron posteriormente en los muros de los niveles superiores. La falla de los muros se asoció al aplastamiento del concreto de los muros. Los muros de la estructura de mampostería no reforzada tuvieron un comportamiento inicialmente dominado por flexión. Se observaron agrietamientos horizontales a lo largo de la altura de los muros. Posteriormente se observaron agrietamientos diagonales y verticales hasta alcanzar la falla. El comportamiento de la estructura de mampostería reforzada fue mejor que el de la no reforzada.

San Bartolomé et al. (1992) evaluaron el comportamiento de una estructura de tres niveles en una mesa vibradora. La estructura se construyó a escala 1:2.5. Las dimensiones en planta fueron de 247.5 cm x 117.5 cm (largo x ancho). La estructura estuvo formada por muros de mampostería confinada y losas de concreto reforzado. Las dimensiones de los muros fueron de 117.5 cm x 98 cm x 7.5 cm (longitud x altura x espesor). El espesor de la losa fue de 15 cm. Los muros se construyeron utilizando tabiques sólidos de arcilla y mortero en proporción por volumen 1:4 (cemento : arena). Las dimensiones de los tabiques fueron de 7.5 cm x 7 cm x 13.5 cm (ancho x altura x longitud). Los tabiques se cortaron a partir de piezas de dimensiones de 13.5 cm x 7 cm x 24 cm (ancho x altura x longitud). El espesor de las juntas de mortero fue de 5 mm. La sección transversal de los castillos fue de 7.5 cm x 10 cm (ancho x altura). La resistencia a compresión del concreto fue de 152.96 kg/cm<sup>2</sup>. El acero de refuerzo longitudinal de los castillos consistió en 4 barras de 5.5 mm de diámetro. El acero de refuerzo horizontal de los muros consistió en una barra de aproximadamente 6 mm de diámetro a cada tres hiladas. Ambos aceros tuvieron una resistencia a la fluencia de 2,243.38 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de las piezas a escala reducida fue de 112.17 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de la mampostería fue de 61.18 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia

se determinó mediante el ensaye de pilas con dimensiones de 7.5 cm x 13.5 cm x 37.5 cm (ancho x longitud x altura). La resistencia a compresión del mortero fue de 61.18 kg/cm<sup>2</sup>. El comportamiento de la estructura fue inicialmente dominado por flexión. Se observó la fluencia del acero de refuerzo longitudinal de los castillos. Posteriormente, se observó la falla por cortante de los muros del primer nivel. Lo anterior se atribuyó al cambio en la distribución de fuerzas cortantes a lo largo de la altura de la estructura.

Kwan et al. (1995) evaluaron el comportamiento de tres estructuras de 4 niveles en una mesa vibradora. Las estructuras se construyeron a escala 1:3. Las dimensiones en planta fueron de 200 cm x 150 cm (largo x ancho). Una de las estructuras estuvo formada por muros diafragma de mampostería en un marco de concreto reforzado. El espesor de la losa de concreto reforzado fue de 4 cm. Las dimensiones de los muros fueron de 150 cm x 109.5 cm x 6 cm (longitud x altura x espesor). Los muros se construyeron utilizando tabiques sólidos de arcilla. Las dimensiones de los tabiques fueron de 3.9 cm x 1.9 cm x 8 cm (ancho x altura x longitud). El espesor de las juntas fue de 2 mm. La sección transversal de los elementos del marco de concreto reforzado fue de 6 cm x 10 cm (ancho x altura). La resistencia a compresión del concreto fue de 127.5 kg/cm<sup>2</sup>. El acero de refuerzo longitudinal consistió en 4 barras de 8 mm de diámetro con una resistencia a la fluencia de 2,427 kg/cm<sup>2</sup>. El acero de refuerzo transversal consistió en barras de 4 mm de diámetro a cada 3 cm. La resistencia a compresión de las piezas a escala reducida fue de 139.7 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión del mortero fue de 22.43 kg/cm<sup>2</sup>. El comportamiento de la estructura estuvo dominado por cortante. Se observaron grietas diagonales en el primer y segundo nivel. Se observaron también grietas horizontales en las bases de las columnas del primer nivel y en los muros. Se observó la falla por deslizamiento del muro del primer nivel.

Costley y Abrams (1996) evaluaron el comportamiento de dos estructuras de dos niveles en una mesa vibradora. Las estructuras se construyeron a escala 3:8. Las dimensiones en planta fueron de 226.31 cm x 167.13 cm (largo x ancho). Las estructuras estuvieron formadas por muros de mampostería no reforzada y vigas de acero. El sistema de vigas simuló un diafragma flexible. La altura de los muros fue

de 108.46 cm por nivel. El espesor de los muros fue de 9.4 cm. Las dimensiones de las vigas fueron de 4.45 cm x 1.25 cm x 167.13 cm (ancho x altura x longitud). Dichas vigas se colocaron a cada 19.71 cm sobre los muros de cada nivel. Los muros se construyeron utilizando tabiques sólidos de arcilla y mortero en proporción por volumen 1:2:9 (cemento : cal : arena). Las dimensiones de los tabiques fueron de 4.47 cm x 2.77 cm x 9.40 cm (ancho x altura x longitud). Los tabiques se cortaron a partir de piezas de dimensiones 9.21 cm x 5.72 cm x 19.37 cm (ancho x altura x longitud). El espesor de la junta de mortero fue de 5 mm. La resistencia a compresión promedio de la mampostería fue de 137.8 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de pilas con dimensiones de 4.47 cm x 9.4 cm x 13.16 cm (ancho x longitud x altura). El comportamiento de las estructuras estuvo dominado por deslizamiento de los muros inferiores. Se observaron agrietamientos horizontales en la base de los muros. Posteriormente se observaron agrietamientos horizontales en la unión de los muros con los entrepisos. Adicionalmente, se observaron grietas diagonales en uno de los muros de la primera estructura.

Benedetti et al. (1998) evaluaron el comportamiento de 14 estructuras de dos niveles en una mesa vibradora. Las estructuras se construyeron a escala 1:2. Se utilizó similitud dinámica completa. Las dimensiones en planta fueron de 275 cm x 220 cm (largo x ancho). Las estructuras estuvieron formadas por muros de mampostería no confinada y losas de madera soportadas por vigas del mismo material. La altura de las estructuras fue de 300 cm. El espesor de los muros fue de 22.5 cm. Los muros de las 7 primeras estructuras se construyeron utilizando tabiques sólidos de arcilla y los de las últimas 7, utilizando piedra. En todas las estructuras se utilizó mortero de baja calidad. La resistencia a compresión de la mampostería de tabiques de arcilla y de piedra fue de 22.43 kg/cm<sup>2</sup> y 2.70 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de muretes con dimensiones de 100 cm x 150 cm x 22.5 cm (longitud x altura x espesor). La resistencia a compresión del mortero fue de 8.15 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de cubos con dimensiones de 5 cm x 5 cm x 5 cm (longitud x altura x espesor). Desafortunadamente no se explican más detalles del proceso constructivo. El comportamiento de la estructura fue dominado por

cortante. Se observaron grietas diagonales en los muros del primer nivel. Posteriormente se observaron pocos agrietamientos diagonales en los muros del segundo nivel. La falla de los muros se asoció en algunos casos al excesivo agrietamiento y en otros casos, al daño producido en las vigas del segundo nivel. Una de las estructuras de mampostería de piedra falló por el deslizamiento del muro inferior, lo cual llevó al colapso. El comportamiento de las estructuras de tabiques de arcilla fue en general mejor que el de las de piedra.

Alcocer et al. (1999) evaluaron el comportamiento de tres estructuras de un nivel en una mesa vibradora. Las estructuras se construyeron a escala 1:3. Se utilizó similitud dinámica simple. Las dimensiones en planta fueron de 180 cm x 120 cm (largo x ancho). Las estructuras estuvieron formadas por muros de mampostería confinada y losas de concreto reforzado. Las dimensiones de los muros de las primeras dos estructuras fueron de 80 cm x 80 cm x 4 cm (longitud x altura x espesor). Las dimensiones de los muros de la tercera estructura fueron de 53.3 cm x 80 cm x 4 cm (longitud x altura x espesor). El espesor de las losas fue de 3 cm. Los muros se construyeron utilizando tabiques sólidos de arcilla y mortero en proporción por volumen 1:3 (cemento : arena). Los tabiques se fabricaron a escala reducida, con dimensiones de 4 cm x 2 cm x 8 cm (ancho x altura x longitud). El espesor de la junta de mortero fue de 3 mm. La sección transversal de los castillos fue de 5 cm x 5 cm (ancho x altura). La sección transversal de las cadenas superiores fue de 5 cm x 8.3 cm (ancho x altura). La resistencia a compresión del concreto de los castillos y cadenas fue de 165 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de cilindros con dimensiones de 10 cm x 20 cm (diámetro x altura). El acero de refuerzo longitudinal de los castillos consistió en 4 barras corrugadas de 3.97 mm de diámetro. El acero de refuerzo longitudinal de la cadena superior consistió en 4 barras corrugadas de 4.76 mm de diámetro. La resistencia a la fluencia del acero de dichas barras fue de 6,490 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión promedio de la mampostería fue de 52.1 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de pilas con dimensiones de 4 cm x 8 cm x 17 cm (ancho x longitud x altura). La resistencia a compresión promedio del mortero fue de 77.3 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de

cubos con dimensiones de 5 cm x 5 cm x 5 cm (ancho x longitud x altura). El tamaño máximo del agregado grueso del concreto fue de 9.5 mm. El comportamiento de los muros de las estructuras fue dominado por cortante. Se observaron grietas diagonales al centro de los muros que se propagaron hacia las esquinas. Adicionalmente se observaron grietas en las juntas de uno de los castillos con el muro. La falla de las estructuras se caracterizó por el aplastamiento de los tabiques del centro de los muros y excesivo agrietamiento, produciendo el colapso.

Arias (2005) evaluó el comportamiento de una estructura de tres niveles en una mesa vibradora. La estructura se construyó a escala 1:2. Se utilizó similitud dinámica simple. Las dimensiones en planta fueron de 358 cm x 358 cm (largo x ancho). La estructura estuvo formada por muros de mampostería confinada y losas de concreto reforzado. La altura de los muros fue de 120 cm por nivel. El espesor de los muros fue de 6 cm. El espesor de las losas fue de 6 cm. Los muros se construyeron utilizando tabiques sólidos de arcilla y mortero en proporción por volumen 1:0.5:3.5 (cemento : cal : arena). Los tabiques se fabricaron a escala reducida, con dimensiones de 6 cm x 3 cm x 12 cm (ancho x altura x longitud). El espesor de la junta de mortero fue de 5 mm. La sección transversal de los castillos fue de 6 cm x 6 cm (ancho x altura). La sección transversal de las cadenas superiores fue de 6 cm x 11.5 cm (ancho x altura). La resistencia a compresión del concreto fue de 244.73 kg/cm<sup>2</sup>. El acero de refuerzo longitudinal consistió en 4 barras de 4.76 mm de diámetro. La resistencia a la fluencia del acero fue de 4,201.23 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de las piezas a escala reducida fue de 120.33 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de la mampostería fue de 71.38 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de pilas con dimensiones de 5.6 cm x 11.8 cm x 21.4 cm (ancho x longitud x altura). La resistencia a compresión del mortero fue de 141 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de cubos con dimensiones de 2.5 cm x 2.5 cm x 2.5 cm (ancho x longitud x altura). El tamaño máximo del agregado grueso del concreto fue de 9.5 mm. El tamaño máximo del agregado fino del mortero fue de 2.4 mm. El comportamiento de las estructuras fue dominado por cortante. Se observaron grietas diagonales en los muros de los primeros niveles. La falla de los muros se

caracterizó por el aplastamiento del concreto y el pandeo del acero de refuerzo longitudinal de los castillos.

Barragán (2005) evaluó el comportamiento de una estructura de dos niveles en una mesa vibradora. La estructura se construyó a escala 1:2. Se utilizó similitud dinámica simple. Las dimensiones en planta fueron de 358 cm x 358 cm (largo x ancho). La estructura estuvo formada por muros de mampostería confinada y losas de concreto reforzado. La altura los muros fue de 120 cm por nivel. El espesor de los muros fue de 6 cm. El espesor de las losas fue de 6 cm. Los muros se construyeron utilizando tabiques sólidos de arcilla y mortero tipo I. Las dimensiones de los tabiques fueron de 6 cm x 3 cm x 12 cm (ancho x altura x longitud). Los tabiques fueron fabricados a escala 1:2. El espesor de la junta de mortero fue de 5 mm. La sección transversal de los castillos fue de 6 cm x 6 cm (ancho x altura). La sección transversal de la cadena superior fue 6 cm x 11.5 cm (ancho x altura). La resistencia a compresión del concreto por diseño fue de 200 kg/cm<sup>2</sup>. El acero de refuerzo longitudinal consistió en 4 barras de 4.76 mm de diámetro. La resistencia a la fluencia del acero fue de 4,200 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión del mortero por diseño fue de 125 kg/cm<sup>2</sup>. El tamaño máximo del agregado grueso del concreto fue de 9.5 mm. El tamaño máximo del agregado fino del mortero fue de 2.4 mm. El comportamiento de la estructura fue dominado por cortante. Se observaron grietas diagonales en ambos niveles de la estructura. Adicionalmente se presentaron grietas horizontales en los castillos.

Vázquez (2005) evaluó el comportamiento de una estructura de un nivel en una mesa vibradora. La estructura se construyó a escala 1:2. Se utilizó similitud dinámica simple. Las dimensiones en planta fueron de 358 cm x 358 cm (largo x ancho). La estructura estuvo formada por muros de mampostería confinada y losas de concreto reforzado. La altura los muros fue de 120 cm por nivel. El espesor de los muros fue de 6 cm. El espesor de las losas fue de 6 cm. Los muros se construyeron utilizando tabiques sólidos de arcilla y mortero en proporción por volumen 1:0.5:3.5 (cemento : cal : arena). Los tabiques se fabricaron a escala reducida, con dimensiones de 6 cm x 3 cm x 12 cm (ancho x altura x longitud). El espesor de la junta de mortero fue de 5 mm. La sección transversal de los castillos

fue de 6 cm x 6 cm (ancho x altura). La sección transversal de la cadena superior fue 6 cm x 11.5 cm (ancho x altura). La resistencia a compresión del concreto fue de 245.5 kg/cm<sup>2</sup>. El acero de refuerzo longitudinal consistió en 4 barras de 4.8 mm de diámetro. La resistencia a la fluencia del acero fue de 4,200 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de las piezas a escala reducida fue de 120 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de la mampostería fue de 71 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de pilas a escala reducida. La resistencia a compresión del mortero fue de 177 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de cubos con dimensiones de 2.5 cm x 2.5 cm x 2.5 cm (ancho x longitud x altura). El tamaño máximo del agregado grueso del concreto fue de 9.5 mm. El comportamiento de la estructura fue inicialmente dominado por deslizamiento. Se observaron grietas horizontales en la primera junta de mortero. Posteriormente se observó la falla por cortante en los muros.

San Bartolomé et al. (2009) evaluaron el comportamiento de una estructura de dos niveles en una mesa vibradora. La estructura se construyó a escala 3:4. Las dimensiones en planta fueron de 316 cm x 136 cm (largo x ancho). La estructura estuvo formada por muros de mampostería confinada. Los muros del primer estuvieron reforzados interiormente. La altura de los muros fue de 190 cm por nivel. El espesor de los muros fue de 18 cm. Los muros se construyeron utilizando tabiques sólidos de adobe y mortero. Se utilizó mortero en proporción por volumen 3:1:1 (tierra : arena : paja) en las juntas sin refuerzo horizontal y mortero en proporción por volumen 1:5 (cemento : arena) en las juntas con refuerzo horizontal. Los tabiques se fabricaron a escala reducida con dimensiones de 18 cm x 8.5 cm x 31 cm (ancho x altura x longitud). El espesor de la junta de mortero fue de 2 cm. Se colocó acero de refuerzo horizontal, el cual consistió en una barra de 6.3 mm a cada tres hiladas. La sección transversal de los castillos fue de 18 cm x 18 cm (ancho x altura). La sección transversal de la de cadena superior fue de 18 cm x 15 cm (ancho x altura). La resistencia a compresión del concreto fue de 142.76 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de cilindros. El acero de refuerzo longitudinal de los castillos consistió en 4 barras de 6.3 mm de diámetro con una resistencia a la fluencia de 4,282.81 kg/cm<sup>2</sup>. El acero de refuerzo

longitudinal de la cadena superior consistió en 2 barras de 6.3 mm de diámetro. La resistencia a la fluencia del acero de refuerzo fue de 4,282.81 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de las piezas a escala reducida fue de 18 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de la mampostería fue de 9.18 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de pilas 18 cm x 30 cm x 53.5 cm (ancho x longitud x altura). El comportamiento de la estructura estuvo inicialmente dominado por deslizamiento. Se observaron agrietamientos horizontales en la base de los muros del segundo nivel. Posteriormente se observaron agrietamientos verticales en la unión entre muros y castillos del segundo nivel. Se observaron grietas diagonales en los muros del segundo nivel hasta alcanzar la falla. La falla estuvo determinada por el colapso de uno de los muros. El daño estuvo concentrado en el segundo nivel.

Bothara et al. (2010) evaluaron el comportamiento de una estructura de dos niveles en una mesa vibradora. La estructura se construyó a escala 1:2. Se utilizó similitud dinámica completa. Las dimensiones en planta fueron de 288 cm x 192 cm (largo x ancho). La estructura estuvo formada por muros de mampostería no reforzada y vigas de madera. El sistema de vigas simuló un diafragma flexible. La altura de los muros fue de 134 cm y 114 cm en el primer y segundo nivel, respectivamente. Adicionalmente la altura hasta el hastial fue de 85 cm. El espesor de los muros fue de 11 cm. El espesor de las vigas fue de 1 cm. Posteriormente, placas de madera fueron sujetas a las vigas. Los muros se construyeron usando tabiques sólidos de arcilla y mortero en proporción por volumen 1:1:6 (cemento : cal: arena). Se usaron tabiques a escala natural, con dimensiones de 11 cm x 8 cm x 24 cm (ancho x altura x longitud). El espesor de las juntas de mortero fue de 12 mm. La resistencia a compresión de las piezas a escala natural fue de 271.24 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión promedio de la mampostería fue de 165.19 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de pilas. La resistencia a compresión promedio del mortero fue de 77.5 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de cubos. La estructura se ensayó primero longitudinalmente y después transversalmente. En el ensaye longitudinal, el comportamiento de la estructura fue dominado por deslizamiento. Se observó inicialmente una grieta vertical en uno de los muros del primer nivel. Al aumentar el nivel de carga, se observó una grieta

horizontal en la base del muro a dos aguas. Posteriormente se observaron más grietas horizontales en los muros de los dos niveles y en la unión de muros y losa de entrepiso. Se observaron también pocos agrietamientos diagonales. En el ensaye transversal, la mayoría de las grietas se expandieron y se propagaron. Así mismo, se observaron grietas verticales en el segundo nivel. La falla de la estructura se asoció al agrietamiento severo.

Tomažević y Gams (2012) evaluaron el comportamiento de tres estructuras en una mesa vibradora. Las primeras dos estructuras fueron de tres niveles y la última de cuatro niveles. Las estructuras se construyeron a escala 1:4. Se utilizó similitud dinámica completa, con algunos incumplimientos de las leyes de este tipo de similitud. Las dimensiones en planta fueron de 218.8 cm x 171.3 cm (largo x ancho). Las estructuras estuvieron formadas por muros de mampostería reforzada y losas. La altura de los muros fue de 67.5 cm por nivel. El espesor de los muros fue de 7.5 cm. El espesor de las losas de CCA de la primera estructura fue de 5 cm. El espesor de las losas de concreto reforzado de la segunda y tercera estructura fue de 3.75 cm. Los muros se construyeron utilizando bloques sólidos de CCA clase 4 y mortero de pared delgada. Las dimensiones de los bloques fueron de 7.5 cm x 6.3 cm x 15.6 cm (ancho x altura x longitud). Los bloques se cortaron a partir de piezas de dimensiones de 30 cm x 25 cm x 62.5 cm (ancho x altura x longitud). El espesor de las juntas de mortero fue 1 a 2 mm. La resistencia a compresión promedio del concreto de las losas fue de 224.34 kg/cm<sup>2</sup> y de los castillos y cadenas fue de 92.79 kg/cm<sup>2</sup>. Se colocó acero de refuerzo vertical en las intersecciones y los extremos de los muros, el cual consistió en una barra de 4.2 mm de diámetro para las dos primeras estructuras y una barra de 3.8 mm de diámetro para la tercera estructura. La resistencia a la fluencia del acero fue de 2,243.38 kg/cm<sup>2</sup> y 4,894.64 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Adicionalmente, se utilizó acero de refuerzo longitudinal para las cadenas superiores, el cual consistió en una barra de 3.55 mm de diámetro. La resistencia a la fluencia del acero fue de 2,141.4 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de las piezas a escala reducida fue de 16.21 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de cubos con dimensiones de 6.3 cm x 6.3 cm x 6.3 cm (ancho x longitud x altura). La resistencia a compresión de la mampostería

fue de 15.19 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de muretes con dimensiones de 46.9 cm x 68.8 cm x 7.5 cm (longitud x altura x espesor). El tamaño máximo del agregado grueso del concreto fue de 2 mm. La primera estructura estuvo sujeta a excitaciones sísmicas sobre el eje de simetría y las dos últimas estuvieron sujetas a excitaciones sísmicas ortogonales al eje de simetría. El comportamiento de las estructuras fue dominado por cortante. Este comportamiento se caracterizó inicialmente por agrietamientos diagonales en los muros de los primeros niveles. Al aumentar el nivel de carga, se observaron algunos agrietamientos en los muros de los niveles superiores. La falla de las estructuras se asoció al aplastamiento de los muros del primer nivel. Aunque este autor menciona que se utilizó mampostería confinada, el acero de refuerzo se colocó dentro de las perforaciones de las piezas, lo cual no es una práctica común en México para dicho tipo de mampostería.

Lourenço et al. (2013) evaluaron el comportamiento de dos estructuras de dos niveles en una mesa vibradora. Las estructuras se construyeron a escala 1:2. Se utilizó similitud dinámica simple. Las dimensiones en planta fueron 420 cm x 340 cm (largo x ancho). La primera estructura estuvo formada por muros de mampostería reforzada y la segunda por muros de mampostería no reforzada. La altura de los muros fue de 140 cm por nivel. El espesor de los muros fue de 10 cm. El espesor de las losas de concreto reforzado fue de 10 cm. Los muros se construyeron utilizando bloques huecos de concreto y mortero en proporción por volumen 1:3 (cemento : arena). Los bloques se fabricaron a escala reducida, con dimensiones de 10 cm x 9.5 cm x 20 cm (ancho x altura x longitud). Se colocó acero de refuerzo vertical entre las juntas verticales y a través de los bloques. Adicionalmente, se utilizó acero de refuerzo horizontal a cada dos hiladas. Ambos refuerzos fueron armaduras prefabricadas, las cuales consistían en dos barras paralelas soldadas a una barra en zigzag. La distancia de las diagonales de las armaduras fue escalada. Los muros se rellenaron utilizando concreto con tamaño máximo del agregado grueso escalado a 1:2. La resistencia a compresión del concreto fue de 101.97 kg/cm<sup>2</sup>. Ambas estructuras fueron llevadas hasta el mismo nivel de carga. Los muros de la estructura de mampostería reforzada tuvieron un

comportamiento dominado por deslizamiento. Se observaron grietas horizontales en los muros del primer nivel. Posteriormente se observaron pocas grietas diagonales. Los muros de la estructura de mampostería no reforzada tuvieron un comportamiento inicialmente dominado por deslizamiento. Se observaron agrietamientos horizontales a lo largo de la altura de los muros del primer nivel. Posteriormente se observaron agrietamientos diagonales hasta alcanzar la falla. El comportamiento de la estructura de mampostería reforzada fue mejor que el de la no reforzada.

### **2.3 Estudios de muros de mampostería a escala reducida**

Tomažević et al (1996) evaluaron el comportamiento de 32 muros de mampostería reforzada a escala 1:2. Se estudió la influencia de cuatro diferentes protocolos de desplazamiento lateral a dos niveles de carga axial en muros. Los protocolos de carga consistieron en desplazamientos incrementales (dinámicos y estáticos) y cíclicos reversibles (dinámicos y estáticos). Las variables de estudio fueron la carga axial y el tipo de ensaye. Las dimensiones de los muros fueron de 61 cm x 96 cm x 10 cm (longitud x altura x espesor). Los muros se construyeron utilizando bloques huecos de concreto. Los bloques se fabricaron a escala reducida con dimensiones de 10 cm x 10 cm x 20 cm (ancho x altura x longitud). La resistencia a compresión de la mampostería fue de 53.02 kg/cm<sup>2</sup>. Se colocó acero de refuerzo vertical en los extremos de los muros, el cual consistió en una barra de 10 mm de diámetro. El acero de refuerzo horizontal de los muros consistió en dos barras de 6 mm de diámetro a cada hilada. La resistencia a la fluencia del acero de refuerzo fue de 2,580 kg/cm<sup>2</sup>. Los muros con mayor carga axial presentaron mayor resistencia bajo el mismo tipo de carga. Se observó mayor resistencia lateral mediante ensayos dinámicos que mediante ensayos estáticos. Los factores de ductilidad fueron similares para los dos tipos de ensaye. Se observó que, para un nivel mayor de carga axial, la resistencia lateral y rigidez incrementaron, pero la deformación y ductilidad disminuyeron, tanto para ensayos dinámicos como estáticos. La mayoría de los muros tuvieron un comportamiento dominado por flexión. Se observaron agrietamientos horizontales y verticales en las juntas de mortero en la base de los

muros. La falla de los muros se asoció a la fractura del acero cuando se presentaron niveles altos de carga vertical.

Tomazevic y Klemenc (1997) evaluaron el comportamiento de 6 muros a escala 1:5 ante cargas laterales cíclicas reversibles. Se consideró un esfuerzo axial de 2.85 kg/cm<sup>2</sup>. Tres muros estuvieron formados por mampostería confinada y los tres restantes por mampostería no reforzada. Las dimensiones de los muros de confinados fueron de 28 cm x 43 cm x 3.8 cm (largo x altura x espesor) y las de los muros no reforzados fueron de 24 cm x 38 cm x 3.8 cm (largo x altura x espesor). Los muros se construyeron utilizando bloques de concreto y mortero en proporción por volumen 0.4:1:11 (cemento : cal : arena). Los bloques se fabricaron a escala reducida con dimensiones de 3.8 cm x 5.8 cm x 7.8 cm (ancho x altura x longitud). La sección transversal de los castillos fue de 2 cm x 3.8 cm (ancho x altura). La sección transversal de la cadena superior fue de 5 cm x 5 cm (ancho x altura). La resistencia a compresión del concreto fue de 110.3 kg/cm<sup>2</sup>. El acero de refuerzo de los castillos consistió en 2 barras de acero de 3.2 mm de diámetro. El acero de refuerzo de la cadena superior consistió en 4 barras de acero de 3.2 mm de diámetro. La resistencia a la fluencia del acero de refuerzo fue de 2,712 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de las piezas a escala reducida fue de 11.11 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a compresión de la mampostería fue de 12.95 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de pilas. La resistencia a compresión del mortero fue de 4.59 kg/cm<sup>2</sup>. El comportamiento de todos los muros fue dominado por cortante. Se observaron agrietamientos diagonales en los muros. En el caso de los muros confinados, los agrietamientos diagonales penetraron en los castillos. La falla de los muros se caracterizó por el aplastamiento del concreto. Se llevaron los muros hasta el colapso. Los muros de mampostería confinada tuvieron un mejor comportamiento que los muros no reforzados.

Tomažević y Gams (2012) evaluaron el comportamiento de 10 muros a escala 1:4 ante cargas laterales cíclicas reversibles. La variable de estudio fue el refuerzo en el muro. Seis muros estuvieron formados por mampostería reforzada interiormente y los cuatro restantes por mampostería no reforzada. Las dimensiones de los muros fueron de 46.9 cm x 68.8 cm x 7.5 cm (largo x altura x espesor). Los muros se

construyeron utilizando bloques sólidos de CCA clase 4 y mortero de pared delgada. Las dimensiones de los bloques fueron de 7.5 cm x 6.3 cm x 15.6 cm (ancho x altura x longitud). Los bloques se cortaron a partir de piezas de dimensiones de 30 cm x 25 cm x 62.5 cm (ancho x altura x longitud). El espesor de las juntas de mortero fue 1 mm a 2 mm. Se colocó acero de refuerzo vertical en las intersecciones y los extremos de los muros, el cual consistió en una barra de 4.2 mm de diámetro para algunos muros y una barra de 3.8 mm de diámetro para los otros. La resistencia a la fluencia del acero fue de 2,243.38 kg/cm<sup>2</sup> y 4,894.64 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Los muros reforzados interiormente tuvieron un comportamiento dominado por cortante. La falla se asoció al agrietamiento diagonal de los muros, lo cual produjo la degradación de la rigidez. Los muros no reforzados tuvieron un comportamiento dominado por flexión. La falla estuvo asociada a un agrietamiento horizontal en la base del muro y al aplastamiento de las piezas de CCA en la zona de compresión.

Bose y Rai (2014) evaluaron el comportamiento de un muro diafragma a escala 2:5 ante cargas laterales cíclicas reversibles. Se consideró un esfuerzo axial de 0.066 kg/cm<sup>2</sup>. Las dimensiones del muro fueron de 128.4 cm x 144 cm x 12.5 cm (longitud x altura x espesor). El muro se construyó utilizando bloques sólidos de CCA y mortero de pared delgada. Las dimensiones de los bloques fueron de 12.4 cm x 9.9 cm x 31.2 cm (ancho x altura x longitud). El marco del muro se construyó a base de concreto reforzado. La sección transversal de los elementos del marco de concreto reforzado fue de 20 cm x 20 cm (ancho x altura). La resistencia a compresión del concreto fue de 254.93 kg/cm<sup>2</sup>. El acero de refuerzo longitudinal consistió en barras de 10 mm de diámetro con una resistencia a la fluencia de 4,231.82 kg/cm<sup>2</sup>. El acero de refuerzo transversal consistió en barras de 6 mm de diámetro a cada 6 cm. La resistencia a compresión de las piezas fue de 24.37 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de los bloques de CCA. La resistencia a compresión de la mampostería fue de 24.27 kg/cm<sup>2</sup>. Dicha resistencia se determinó mediante el ensaye de pilas. El comportamiento del muro fue dominado por cortante. Se observó agrietamiento diagonal en ambos sentidos. La falla estuvo caracterizada por la formación de articulaciones plásticas en las columnas de concreto reforzado y al aplastamiento del panel en la zona de compresión. Se

observó que a niveles de distorsión bajos el panel toma la mayor parte del esfuerzo cortante. Al incrementarse la distorsión existe una mejor distribución de cargas entre el panel y el marco, lo cual lleva a un mecanismo de fluencia temprano que genera una mejor disipación de energía.

Restrepo-Vélez et al. (2014) evaluaron el comportamiento de 42 configuraciones diferentes de muros a escala 1:5, ensayados en una superficie reclinable levantada por actuadores hidráulicos. Las variables de estudio fueron la longitud de los muros, la presencia y posición de las aberturas, el radio de cuatrapeo, la calidad de conexión entre los muros, la existencia de sobrecargas en los muros y el número de niveles. Los muros estuvieron formados de mampostería no reforzada. La altura de los muros fue de 60 cm. El espesor de los muros fue de 4 cm. Los muros se construyeron utilizando piezas de mármol, apilados en seco (sin mortero). Las piezas se cortaron a escala reducida, con dimensiones de 4 cm x 3 cm x 8 cm (ancho x altura x longitud). Los muros tuvieron un comportamiento dominado por deslizamiento. Se observaron diferentes tipos de falla por colapso (en muros frontales, extremos, conexiones con muros ortogonales).

Zhenggang et al. (2017) evaluaron el comportamiento de dos marcos de acero de dos niveles a escala 1:2 ante cargas laterales cíclicas reversibles. La variable de estudio fue la presencia de paneles de mampostería en los marcos. El primer marco se ensayó sin paneles y el segundo con paneles, formando un muro diafragma. Las dimensiones de los muros fueron de 180 cm x 130 cm x 6 cm (longitud x altura x espesor) por nivel. Los muros se construyeron utilizando paneles verticales de CCA reforzados interiormente y mortero. Las dimensiones de los paneles fueron de 30 cm x 130 cm x 6 cm (longitud x altura x espesor). El marco se construyó a base de perfiles de acero tipo IR. Las dimensiones de las vigas del marco fueron 20 cm x 10 cm x 0.55 cm x 0.8 cm (peralte x patín x espesor de alma x espesor de patín). Las dimensiones de las columnas del marco fueron de 15 cm x 15 cm x 0.8 cm x 1.0 cm (peralte x ancho de patín x espesor de alma x espesor de patín). Las vigas y columnas estaban conectadas rígidamente. En el segundo marco se colocó una viga adicional en la parte inferior, para soportar los paneles. Los paneles estaban unidos a los elementos metálicos con conectores tipo U. La resistencia a

compresión de los paneles de CCA fue de  $40.78 \text{ kg/cm}^2$ . El comportamiento del muro diafragma fue dominado por cortante. Se observó el agrietamiento diagonal en los muros del primer nivel, los cuales aparecieron en las conexiones con el marco de acero. La falla de los muros se caracterizó por un severo agrietamiento en los paneles. El comportamiento del muro diafragma fue mejor que el del marco sin muro. Se observó que los paneles de CCA incrementaron la rigidez inicial, carga máxima, distorsión y capacidad de disipar la energía.

## **2.4 Estudios de estructuras de mampostería de CCA a escala natural**

Tanner et al. (2005) evaluaron el comportamiento de una estructura de dos niveles ante cargas laterales cíclicas reversibles. Las dimensiones en planta fueron de 610 cm x 280 cm (largo x ancho). La estructura estuvo formada por muros de mampostería reforzada y losas prefabricadas. La altura total de la estructura fue de 510 cm. Los muros y losas se construyeron utilizando paneles verticales y horizontales, respectivamente, los cuales estuvieron reforzados interiormente. Adicionalmente, se colocó acero de refuerzo en las juntas de los paneles verticales y horizontales, el cual consistió en una barra de 12 mm y 16 mm de diámetro, respectivamente. El comportamiento de los muros de la estructura fue dominado por flexión. La falla se asoció al excesivo agrietamiento de los muros de CCA y a la propagación de una grieta vertical en la intersección de dos muros.

Gokmen et al. (2019) evaluaron el comportamiento de una estructura de dos niveles ante cargas laterales cíclicas reversibles. Las dimensiones en planta fueron de 520 cm x 480 cm (largo x ancho). La estructura estuvo formada por muros de mampostería reforzada y losas prefabricadas. La altura de los muros fue de 240 cm por nivel. El espesor de los muros fue de 20 cm. El espesor de las losas fue de 15 cm. Los muros y losas se construyeron utilizando paneles de CCA clase 6, verticales y horizontales, respectivamente. Las dimensiones de los paneles verticales fueron de 60 cm x 240 cm x 20 cm (longitud x altura x espesor). Las dimensiones de los paneles horizontales fueron de 400 cm x 66 cm x 15 cm (largo x ancho x espesor). Los paneles estuvieron reforzados interiormente con acero de

refuerzo de 4 mm y 5 mm de diámetro. Adicionalmente, se colocó acero de refuerzo en las juntas de los paneles, el cual consistió en una barra de 8 mm de diámetro. La resistencia promedio a la fluencia del acero fue de 4,078.86 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia promedio a la compresión de la mampostería fue de 40.28 kg/cm<sup>2</sup>. El comportamiento de los muros de la estructura fue dominado por deslizamiento. Así mismo, se observaron cuatro muros que presentaron fallas por flexión-cortante y dos paneles por flexión. El comportamiento por deslizamiento se caracterizó inicialmente por agrietamientos horizontales en los muros de los primeros niveles. Al aumentar el nivel de carga, se observaron agrietamientos diagonales en las esquinas. La falla de la estructura se asoció a la deformación como cuerpo rígido.

## **2.5 Estudios de muros confinados de CCA a escala natural**

Yu et al. (2013) ensayaron 6 muros de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Se consideraron cinco muros confinados y un muro no reforzado. La variable de estudio fue el tipo de refuerzo en los muros. Los muros se construyeron con bloques sólidos de CCA y mortero de pared delgada. Se consideró una relación de aspecto de 0.52 y un esfuerzo axial de compresión de 7.13 kg/cm<sup>2</sup>. Se empleó un castillo intermedio y de una a dos cadenas intermedias. El comportamiento de los muros fue dominado por cortante, se presentaron grietas diagonales en ambos sentidos. Los autores concluyeron que sin los castillos en los extremos el muro llega a su capacidad de carga inmediatamente después del agrietamiento. El uso de cadenas intermedias previene la ocurrencia y propagación de las grietas por lo que su carga de agrietamiento incrementa con el número cadenas. La ductilidad se mejora si se incrementa la altura de las cadenas intermedias y la cantidad de columnas. Los elementos confinantes mejoran el comportamiento por cortante de los muros de CCA.

Pinto (2018) ensayó dos muros de mampostería confinada sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Las dimensiones de los muros fueron de 456 cm x 240 cm x 15 cm (largo x alto x espesor). La variable de estudio fue el tipo de pieza. Un muro fue construido con bloques huecos de concreto y el otro con bloques sólidos de CCA Clase 4. El esfuerzo axial de compresión aplicado fue de 3 kg/cm<sup>2</sup>.

Los muros tuvieron comportamiento dominado por cortante. Las fallas estuvieron asociadas al excesivo agrietamiento diagonal por cortante y su propagación a los castillos. Concluyó que la resistencia a cortante de los muros es función de la relación de aspecto, la relación de esbeltez y la relación entre el esfuerzo axial de compresión y la resistencia a compresión de la mampostería. Propuso una ecuación para calcular la resistencia a cortante de muros confinados de cualquier tipo de pieza.

Varela et al. (2018) ensayaron siete muros de mampostería confinada de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Los muros fueron construidos con bloques sólidos de CCA clase 4 y mortero de pared delgada. Las variables de estudio fueron la relación de aspecto y el esfuerzo axial de compresión. Para la primera variable se consideraron cuatro muros con relaciones de aspecto de 0.71, 1.30, 1.94 y 2.64 con un esfuerzo axial constante de  $3.30 \text{ kg/cm}^2$ . La altura de los muros fue de 240 cm y el espesor de 15 cm. Los muros tuvieron comportamiento dominado por cortante. Las fallas estuvieron asociadas al excesivo agrietamiento diagonal por cortante y su propagación a los castillos. Se observó un patrón de agrietamiento final en forma de "X". Para la segunda variable se consideraron tres muros de 122 cm x 280 cm x 15 cm (largo x alto x espesor) con esfuerzos de  $2.4 \text{ kg/cm}^2$ ,  $4.8 \text{ kg/cm}^2$  y  $7.2 \text{ kg/cm}^2$ . Los muros tuvieron un comportamiento dominado por flexión. Posterior a la fluencia del acero de refuerzo de los castillos se observaron agrietamientos por flexo-cortante. La parte horizontal de la grieta se formó en la junta constructiva de los castillos. La parte diagonal se formó a partir de la junta vertical entre el concreto y el panel de CCA. Las fallas estuvieron asociadas a una degradación de resistencia a flexión mayor al 20 por ciento. Los autores concluyeron que la resistencia a cortante aumenta conforme la relación de aspecto disminuye. Se propusieron modificaciones a las ecuaciones de diseño por cortante y flexo-cortante. Se observó que al incrementar el esfuerzo axial de compresión la resistencia a flexión aumenta y la ductilidad de desplazamiento disminuye. La resistencia a flexión de los muros puede ser calculada adecuadamente por medio de la teoría de flexión.

En un trabajo conjunto se estudió el comportamiento a cortante de ocho muros confinados de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles (Fernández 2019; Naal 2019; Ricalde 2019). Las variables de estudio fueron la relación de aspecto y el esfuerzo a compresión. Se consideraron relaciones de 0.71, 1.23, 1.94 y 2.640, y esfuerzos de 4.8 kg/cm<sup>2</sup> y 7.2 kg/cm<sup>2</sup>. La altura de los muros fue de 240 cm. Los muros se construyeron utilizando bloques sólidos con dimensiones de 15 cm x 20 cm x 61 cm (espesor x altura x longitud) y mortero de pared delgada. La resistencia a compresión del CCA fue de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>. Los muros con las menores relaciones de aspecto (0.71 y 1.23) presentaron primero agrietamientos diagonales. Los muros con las mayores relaciones de aspecto (1.94 y 2.64) presentaron primero agrietamientos por flexo-cortante. Se desarrollaron ecuaciones de diseño por cortante y flexo-cortante (Fernández, 2019). Se evaluó el daño en función de la capacidad de deformación, la degradación de rigidez y los patrones de agrietamiento de los muros (Naal, 2019). Se propusieron dos modelos de histéresis para representar el comportamiento a cortante, uno con y el otro sin degradación de resistencia (Ricalde, 2019).

## **CAPÍTULO 3 DISCUSIÓN SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS DE ESCALAMIENTO**

Se revisaron 16 estudios sobre estructuras de mampostería a escala reducida. En dichos estudios se consideraron estructuras de 1 hasta 4 niveles. Se incluyeron muros confinados de tabiques de arcilla; muros reforzados de tabiques de arcilla, bloques de concreto y bloques de CCA; muros no reforzados de tabiques de arcilla, bloques de concreto y piedras naturales; y muros diafragma de tabiques de arcilla. Adicionalmente, se revisaron 6 estudios sobre muros de mampostería a escala reducida. Se consideraron muros confinados de bloques de concreto; muros reforzados de bloques de concreto y bloques de CCA; muros no reforzados de bloques de concreto, bloques de CCA y mármol natural; y muros diafragma de bloques de CCA y paneles de CCA. No se encontraron trabajos sobre estructuras a escala reducida con muros confinados de bloques de CCA. De la misma manera, no se encontraron trabajos sobre muros confinados de bloques de CCA a escala reducida.

### **3.1 Escalas utilizadas en estructuras y muros**

Se encontró que para escalar estructuras y muros de mampostería existen tres tipos de similitudes físicas: geométrica, cinemática y dinámica. Esta última puede ser dinámica completa o simple. La similitud geométrica, o escala geométrica, se utiliza generalmente para el ensaye de estructuras y muros ante cargas laterales estáticas incrementales. La similitud dinámica completa o simple se utiliza para el ensaye de estructuras en mesa vibradora.

Las escalas geométricas utilizadas en los estudios revisados son la 3:4, 1:2, 2:5, 3:8, 1:3, 1:4, 1:5 y 1:7. Se recomienda el uso de la escala más cercana a la natural (Caccese et al. 1990; Elnashai et al. 1990). Sin embargo, se observa que como el número de niveles de la estructura en estudio aumenta, se utiliza una escala geométrica más alejada de la natural. Lo anterior se atribuye a limitaciones de espacio en los laboratorios.

### **3.2 Dimensiones de muros a escala reducida**

Se observa que las dimensiones de los muros se reducen proporcionalmente con la escala geométrica seleccionada. Se encontró, en general, que la longitud, la altura y espesor de los muros se reducen proporcionalmente con la escala geométrica requerida. Sin embargo, se encontraron algunos estudios donde no se reducen proporcionalmente todas las dimensiones anteriores. Para el caso de muros confinados, se observa que, en general, las secciones transversales de los castillos y cadenas se reducen también proporcionalmente con la escala geométrica seleccionada.

### **3.3 Dimensiones de piezas**

Se observa, en general, que las dimensiones (ancho, altura y longitud) de las piezas se reducen proporcionalmente con la escala geométrica seleccionada. Las piezas se fabrican o se cortan a la escala requerida. Se observa que cuando se utilizan tabiques o bloques huecos, las piezas se fabrican, y cuando se utilizan tabiques o bloques sólidos, las piezas se fabrican o se cortan. El corte de las piezas se realiza utilizando piezas sólidas a escala natural.

Se observa que, en ocasiones, cuando las piezas se cortan, solo se utilizan dos cortes. Lo anterior se realiza para reducir el número de cortes. En este caso, las piezas cortadas se utilizan con una orientación de carga diferente a la que se utiliza para las piezas a escala natural (San Bartolomé et al. 1992). Así mismo, se observa que, en ocasiones, no se escalan las piezas (Bothara et al. 2010).

### **3.4 Espesor de juntas de mortero**

Se observa que, para la construcción de muros de mampostería de tabiques de arcilla, bloques de concreto o piedra natural, se utiliza mortero hidráulico de diferentes proporciones. Para muros de mampostería de CCA, se utilizan dos tipos de mortero: hidráulico y de pared delgada. En la primera hilada de bloques se utilizan ambos y en las hiladas subsecuentes se utiliza solo el segundo.

Se observa que, en general, los espesores de las juntas de mortero hidráulico se reducen proporcionalmente con la escala geométrica requerida. Sin embargo, se recomienda que dicho espesor no sea menor de 1.6 mm (Mohammed y Hughes 2011). Lo anterior se debe a limitaciones asociadas al tamaño máximo de las partículas de arena del mortero. Para el caso del mortero de pared delgada, se observa que los espesores de las juntas no se reducen. Lo anterior se debe a que estos espesores son de entre 1 mm y 2 mm.

Se observa que el tamaño máximo de las partículas de arena del mortero hidráulico en ocasiones se escala, pero no necesariamente proporcionales a la escala geométrica requerida (Tomažević 1988; Abrams y Paulson 1991; Costley y Abrams 1996; Arias 2005; Barragán 2005; Vázquez 2005; Lourenço et al. 2013). Por ejemplo, el tamaño mínimo utilizado para el tamaño máximo de las partículas de arena fue de 1.1 mm para una escala 1:5 (Abrams y Paulson 1991).

### **3.5 Acero de refuerzo**

Se observa que el acero de refuerzo de castillos y cadenas se reduce, pero no necesariamente proporcional a la escala geométrica requerida. Se observa que, en ocasiones, se utilizan diferentes tipos de acero como, por ejemplo, el acero rolado en frío (Alcocer et al. 1999). Se utilizan también, diámetros menores a los tradicionalmente utilizados en concreto reforzado. En la Tabla 3.1 se presenta los detalles del acero de refuerzo longitudinal de castillos y cadenas de diferentes muros confinados. Similarmente, en la Tabla 3.2, se presenta los detalles del acero de refuerzo de muros reforzados interiormente. En las tablas anteriores,  $f_y$  representa el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo. En un estudio se encontró que se utilizó aluminio en vez de acero de refuerzo (Tabla 3.2) (Tomažević 1987).

Tabla 3.1. Detalles del acero de refuerzo de muros confinados.

Escala	Diámetro de la barra (mm)	Elemento confinante	$f_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Referencia
3:4	6.30 6.30	Castillos Cadenas	4,283	San Bartolomé et al. 2009
1:2	4.76 4.76	Castillos Cadenas	4,201	Arias 2005
1:2	4.76 4.76	Castillos Cadenas	4,200	Barragán 2005
1:2	4.80 4.80	Castillos Cadenas	4,200	Vázquez 2005
2:5	5.50 5.50	Castillos Cadenas	2,243	San Bartolomé et al. 1992
2:5	10.00 (longitudinal) 6.00 (transversal)	Castillos Cadenas	4,232	Bose y Rai 2014
1:3	8.00 (longitudinal) 4.00 (transversal)	Castillos Cadenas	2,427	Kwan et al. 1995
1:3	3.97 4.76	Castillos Cadenas	6,490	Alcocer et al. 1999
1:5	4.20 3.10	Castillos Cadenas	3,987 3,294	Tomažević y Modena 1988
1:5	3.20 3.20	Castillos Cadenas	2,712	Tomažević y Klemenc 1997

Tabla 3.2. Detalles del acero de refuerzo de muros reforzados interiormente.

Escala	Diámetro de la barra (mm)	Tipo de refuerzo	$f_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Referencia
3:4	6.30	Horizontal	4,283	San Bartolomé et al. 2009
1:2	10.00 6.00	Vertical Horizontal	2,580 2,580	Tomažević et al. 1996
2:5	6.00	Horizontal	2,243	San Bartolomé et al. 1992
1:4	3.00 3.00	Vertical Horizontal	No dice	Abrams y Paulson 1991
1:4	4.20 (estr. 1 y 2) 3.80 (estr. 3)	Vertical Vertical	2,243 4,895	Tomažević y Gams 2012
1:5	3.00 1.00	Vertical Horizontal	No dice No dice	Tomažević y Weiss 1991
1:5	2.30 1.10	Vertical Horizontal	948 No dice	Tomažević y Modena 1988
1:7	1.00 (aluminio)	Horizontal	669	Tomažević 1987

### 3.6 Propiedades mecánicas

Se observa que, en general, la resistencia a compresión de las piezas se determina mediante el ensaye de piezas a escala reducida. Para el caso del CCA, la resistencia a compresión se determina mediante el ensaye de cubos de 10 cm de longitud (ASTM C1693-11).

Se observa que, en general, no se reporta en los estudios revisados la manera en la que se determina la resistencia a compresión del mortero. Sin embargo, en algunos trabajos se encontró que dicha resistencia se determina mediante el ensaye de cubos de 5 cm de longitud (Benedetti et al. 1998; Alcocer et al. 1999) y mediante el ensaye de cubos de 2.5 cm de longitud (Arias 2005; Barragán 2005). En estos dos últimos estudios se observa que la resistencia a compresión del mortero de los modelos a escala reducida es similar a la de los modelos a escala natural.

Se observa que, en general, la resistencia a compresión de la mampostería se determina mediante el ensaye de pilas construidas a escala reducida. Para el caso del CCA, no se requiere la resistencia a compresión de la mampostería de CCA, solo se requiere la resistencia a compresión del CCA.

Se observa que, en general, no se especifica cómo se obtiene la resistencia a compresión del concreto. Alcocer et al. 1999, determinaron dicha resistencia con cilindros de 10 cm x 20 cm (diámetro x altura) para una escala de 1:3. Adicionalmente, en dos estudios se determinó por medio de cilindros de 7.5 cm x 10 cm (diámetro x altura) (Arias 2005; Barragán 2005). En la Tabla 3.3 se reportan las resistencias obtenidas para muros confinados y muros diafragma. En la Tabla 3.4 se reportan las resistencias obtenidas para muros reforzados interiormente.

Se observa que el tamaño máximo del agregado grueso del concreto en ocasiones se escala, pero no necesariamente proporcional a la escala geométrica requerida (Tomažević y Modena 1988; Alcocer et al. 1999; Arias 2005; Barragán 2005; Vázquez 2005; Tomažević y Gams 2012; Lourenço et al 2013). El tamaño mínimo utilizado fue de 2 mm para una escala 1:4 (Tomažević y Gams 2012). En ocasiones el agregado grueso se elimina del concreto (Abrams y Paulson 1991).

Tabla 3.3. Resistencias del concreto para muros confinados y muros diafragma.

Escala	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Tamaño del agregado grueso	Método	Tipo de muros	Referencia
	castillos y cadenas				
3:4	142.76	---	Cilindros	Mampostería confinada	San Bartolomé et al. 2009
1:2	199.86	9.5 mm	Cilindros 7.5 cm x 10 cm	Mampostería confinada	Arias 2005
1:2	199.86	9.5 mm	---	Mampostería confinada	Barragán 2005
1:2	200.00	9.5 mm	Cilindros 7.5 cm x 10 cm	Mampostería confinada	Vázquez 2005
2:5	152.96	---	---	Mampostería confinada	San Bartolomé et al. 1992
2:5	254.93	---	---	Muros diafragma	Bose y Rai 2014
1:3	127.50	---	Cubos	Muros diafragma	Kwan et al. 1995
1:3	165.00	9.5 mm	Cilindros 10 cm x 20 cm	Mampostería confinada	Alcocer et al. 1999
1:5	110.30	---	---	Mampostería confinada y no reforzada	Tomažević y Klemenc 1997

Tabla 3.4. Resistencias del concreto para muros reforzados interiormente

Escala	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Tamaño del agregado grueso	Método	Tipo de muros	Referencia
1:2	101.97	Escalado a 1:2	---	Mampostería reforzada y no reforzada	Lourenço et al. 2013
1:4	---	Fue eliminado	---	Mampostería reforzada	Abrams y Paulson 1991
1:4	92.79	2.0 mm	---	Mampostería reforzada	Tomažević y Gams 2012
1:5	261.97	4.0 mm	---	Mampostería reforzada	Tomažević y Modena 1988
1:7	---	No dice	---	Mampostería reforzada	Tomažević 1987

## **CAPÍTULO 4 PROPUESTA ESCALAMIENTO PARA MUROS CONFINADOS DE CCA**

Con base en la revisión de la literatura y sus discusiones posteriores, se propone un procedimiento de escalamiento para muros confinados de CCA. Se asume que los muros se construirán con bloques sólidos de CCA y se ensayarán utilizando cargas laterales cíclicas reversibles.

### **4.1 Procedimiento de escalamiento**

1. Seleccionar el tipo de similitud. Para el ensaye de muros ante cargas estáticas incrementales se recomienda utilizar una similitud o escala geométrica.
2. Seleccionar la escala geométrica más cercana a la natural. Se debe considerar el número de niveles del muro y el espacio en el laboratorio.
3. Reducir las dimensiones del muro. Se debe reducir la longitud, la altura y el espesor del muro proporcionalmente con la escala geométrica seleccionada. Adicionalmente, se deben reducir las secciones transversales de los castillos y las cadenas utilizando dicha escala geométrica.
4. Cortar los bloques de CCA a la escala geométrica seleccionada. Se recomienda utilizar bloques a escala natural. Es posible realizar un corte longitudinal, reduciendo solamente el espesor; o un corte longitudinal, reduciendo el espesor y uno transversal. Esto es debido a que la resistencia a compresión de bloques y de la mampostería de CCA es similar; gracias a la alta resistencia a compresión y de adherencia del mortero de pared delgada. Lo cual se traduce en que el panel de mampostería actúe monolíticamente (Pérez, 2019). Sin embargo, se recomienda realizar tres cortes para respetar la similitud geométrica en las tres dimensiones. Por lo que la cara de contacto del bloque a escala reducida coincidirá con la cara de contacto del bloque a escala natural. (Figuras 4.1 – 4.4).

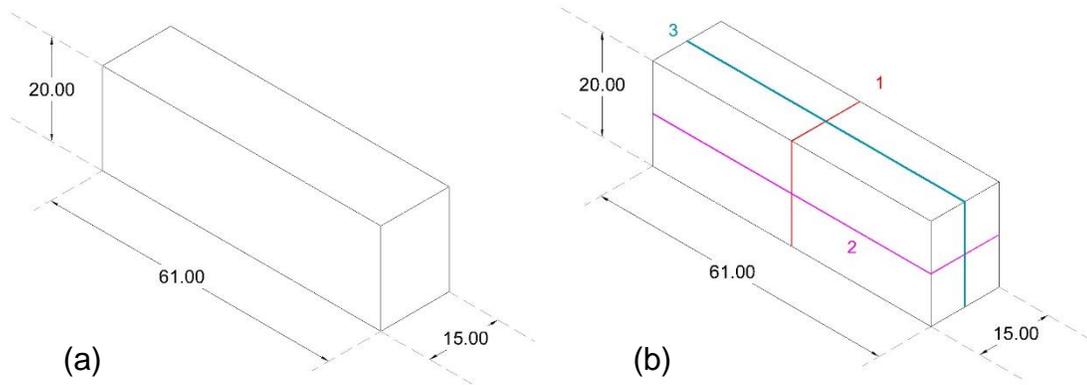


Figura 4.1. (a) Bloque de CCA. (b) Orden de los cortes para una escala 1:2.

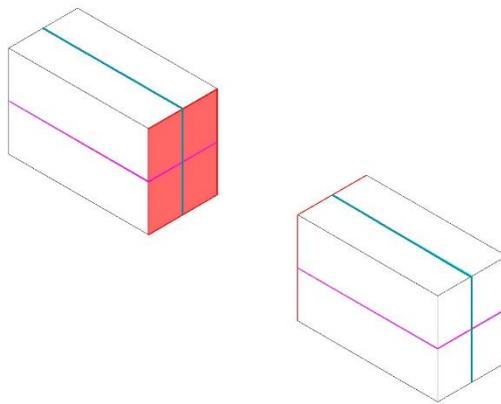


Figura 4.2. Primer corte (transversal) para una escala 1:2.

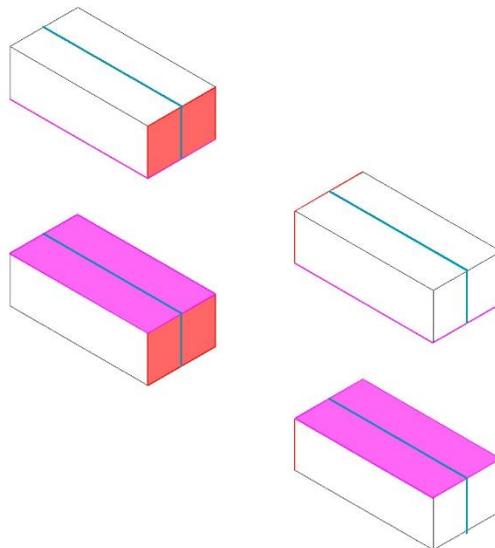


Figura 4.3. Segundo corte (longitudinal) para una escala 1:2.

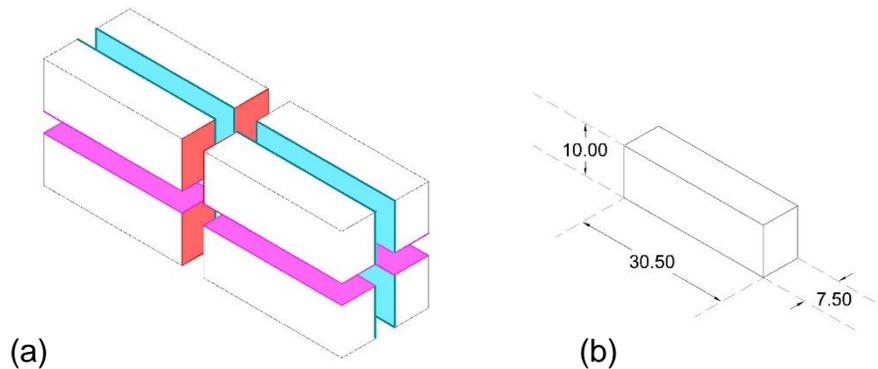


Figura 4.4. (a) Tercer corte (longitudinal) para una escala 1:2. (b) Pieza a escala 1:2

5. Reducir la cantidad de acero de refuerzo de los castillos y cadenas. Se recomienda utilizar acero convencional o acero de otros tipos como, por ejemplo, el acero rolado en frío. Se pueden utilizar diámetros menores que los convencionales. Se recomienda determinar la curva esfuerzo-deformación del acero seleccionado.
6. Reducir el tamaño máximo del agregado grueso del concreto para castillos y cadenas. Para escalas 1:2 y 1:3 se recomienda utilizar agregado grueso de 9.5 mm. Para escalas menores a 1:3, se recomienda eliminar el agregado grueso. Lo anterior se propone para facilitar la colocación del concreto en los castillos y las cadenas de los muros. Se recomienda determinar la curva esfuerzo-deformación del concreto utilizado.
7. Reducir el espesor de la junta de mortero hidráulico a la escala geométrica requerida (Figura 4.5). Se recomienda que esta junta no sea menor que el tamaño máximo de las partículas de arena del mortero. Si se requiere, se puede realizar un cribado de la arena. En las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (GCM, 2017) se indica que el espesor máximo de una junta de mortero a escala natural debe ser entre 10 y 12 mm o de 15 mm, para piezas de mampostería de fabricación mecanizada o artesanal, respectivamente. Así mismo, se especifica que el espesor mínimo

de una junta de mortero a escala natural debe ser de 6 mm. Rodríguez (1994) propone que el tamaño máximo de la arena del agregado fino no debe ser superior a un tercio del espesor de la junta ni a 5 mm. Para escalas 1:2, 1:3 y 1:4 se propone lo siguiente:

Tabla 4.1. Espesor de juntas de mortero hidráulico para diferentes escalas.

Escala	Espesor de la junta (mm)	Tamaño máximo del agregado fino (mm)
1:2	5.0	1.6
1:3	3.3	1.1
1:4	2.5	0.8

8. No se debe reducir el espesor de la junta del mortero de pared delgada, ya que es pequeña (1 – 2 mm) (Figura 4.5).

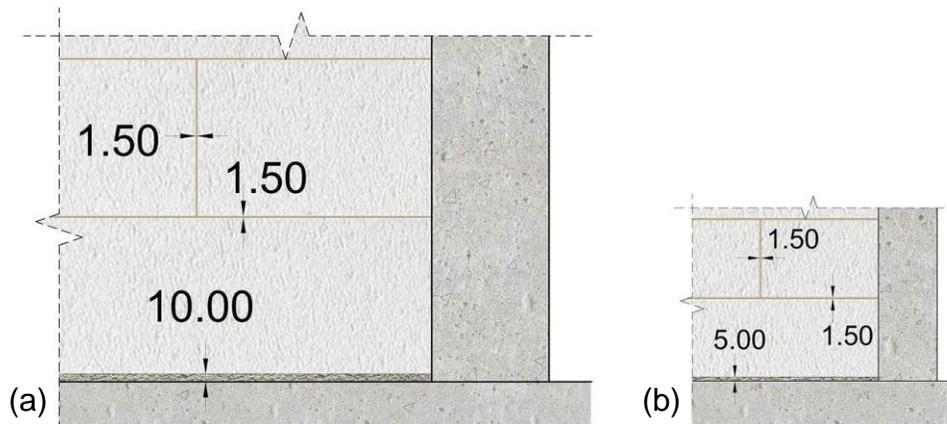


Figura 4.5. Especificación de juntas de mortero hidráulico y de pared delgada.  
(a) Muro a escala natural y (b) muro a escala 1:2.

9. Determinar las propiedades mecánicas de los materiales. Para el caso del CCA y el mortero de pared delgada, se recomienda utilizar las normas ASTM. Para el caso del concreto y el mortero hidráulico, se recomienda utilizar las normas mexicanas correspondientes.

## **CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES**

En este trabajo se propuso un procedimiento de escalamiento para muros confinados de CCA. Se asume que los muros se construirán con bloques sólidos de CCA y se ensayarán utilizando cargas laterales cíclicas reversibles. Se realizó una revisión de la literatura sobre métodos de escalamiento, estudios de estructuras y muros de mampostería a escala reducida, y estudios de estructuras de CCA y muros confinados de CCA a escala natural.

Con base en el análisis de la revisión de la literatura, se propuso un procedimiento de escalamiento, en el cual se recomienda lo siguiente: (1) utilizar una escala geométrica; (2) seleccionar la escala geométrica más cercana a la natural, (3) reducir las dimensiones del muro proporcionalmente con la escala geométrica seleccionada, (4) cortar los bloques de CCA a la escala geométrica seleccionada, (5) reducir la cantidad de acero de refuerzo de los castillos y cadenas, (6) reducir el tamaño máximo del agregado grueso, (7) reducir el espesor de la junta de mortero hidráulico a la escala geométrica requerida, (8) no se debe reducir el espesor de la junta del mortero de pared delgada, ya que es pequeña y (9) determinar las propiedades mecánicas de los materiales utilizando las normas ASTM o mexicanas correspondientes.

## CAPÍTULO 6 BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM – American Society for Testing and Materials (2017). Standard Specification for Autoclaved Aerated Concrete (AAC), ASTM C1693-11 (2017), ASTM International, West Conshohocken, PA.
2. ASTM – American Society for Testing and Materials (2018). Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar, ASTM C144-18 (2018), ASTM International, West Conshohocken, PA.
3. Abrams D., Paulson T. J. (1991). Modeling Earthquake Response of Concrete Masonry Building Structures. ACI Structural Journal, Vol. 88, No. 4, pp. 475–485.
4. Alcocer S., Murià Vila D., Peña I. (1999), Comportamiento dinámico de muros de mampostería confinada. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Investigación y Desarrollo, México.
5. Arias J. (2005), Ensayos en mesa vibradora de un modelo a escala 1:2 de edificio de mampostería confinada de tres niveles. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
6. Barragán R. (2005), Ensayo de una vivienda a escala de dos niveles de mampostería confinada. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
7. Benedetti D., Carydis, P., Pezzoli P. (1998). Shaking table tests on 24 simple masonry buildings, In Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 27, p. 67-90.
8. Bose S., Rai D. C. (2014). Behavior of AAC infilled RC frame under lateral loading, In Proceedings of the 10th National Conference in Earthquake Engineering, Anchorage, Alaska, Julio 21-25.
9. Bothara J. K., Dhakal R. P., Mander J. B. (2010), Seismic performance of an unreinforced masonry building: An experimental investigation, In Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 39. p. 45-68

10. Caccese V., Harris H. (1990). Earthquake simulation testing of small-scale reinforced concrete structures. ACI Structural Journal, Vol. 87, No. 1, pp. 72–79.
11. Costley A. C., Abrams D. P. (1996). Dynamic Response of URM Buildings with Flexible Diaphragms, Structural Research Series Report, Civil Engineering Studies, University of Illinois at Urbana-Champaign, October, 272 pp.
12. Egermann R., Cook D. A., Anzani A. (1991) An investigation into the behaviour of scale model brick walls. Proceedings of the 9th International Brick/Block Masonry Conference; Berlin; 1991. p. 628-35.
13. Elnashai A., Pinho R., Vaz C. (2000). Experimental observations from shaking-table test on selective techniques for repair and strengthening of RC walls. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Nueva Zelanda. Paper 2245.
14. Fernández D. (2019) Resistencia a cortante de muros confinados de CCA. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
15. Harris H. G., Sabnis, G. M. (1999). Structural Modeling and Experimental Techniques, 2ª edición, CRC Press LLC, Florida.
16. GCM – Gobierno de la Ciudad de México (2017). Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, “Gaceta Oficial de la Ciudad de México”, México.
17. Gokmen F., Binici B., Aldemir A., Taghipour A., Canbay E. (2019). Seismic behavior of autoclaved aerated concrete low rise buildings with reinforced wall panels, in Bulletin of Earthquake Engineering 17, p. 3933-3957.
18. Janney J. R., Breen J. E., Geymayer H. (1970). Use of models in structural engineering, in Models for Concrete Structures, ACI SP-24, American Concrete Institute, Detroit, MI, pp. 1–18.

19. Kwan A. K. H., Xia J. Q. (1995) Shake table tests of large-scale shear wall and infilled frame models. Proceedings of the Institute of Civil Engineers; p. 66-77.
20. Langhaar H. L. (1951) Dimensional Analysis and Theory of Models, Ed. John Wiley & Sons, New York.
21. Lourenço P. B., Avila L., Vasconcelos G. et al. (2013). Experimental investigation on the seismic performance of masonry buildings using shaking table testing. Bull Earthquake Eng 11, 1157–1190.
22. Mohammed A., Hughes T.G. (2011) Prototype and model masonry behavior under different loading conditions. In Materials and Structures, RILEM, 44. p. 53-65.
23. Naal E. (2019) Comportamiento a cortante de muros confinados de CCA: evaluación del daño. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
24. Pérez D. S. (2019) Análisis de las propiedades mecánicas del concreto celular de autoclave. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
25. Pinto J. A. (2018). Comportamiento a cortante de muros de mampostería confinada con baja relación de aspecto sujetos a cargas laterales, Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
26. Restrepo-Vélez L.F., Magenes G., Griffith M.C. (2014) Dry Stone masonry walls in bending – Part I: Static Tests. In International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration, 8:1, p. 1-28.
27. Ricalde E. (2019) Comportamiento a cortante de muros confinados de CCA: desarrollo de modelos de histéresis. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.

28. Rodríguez C. (1994). Los morteros. Control de calidad. Informes de la Construcción. 46. Instituto Eduardo Torroja. España.
29. San Bartolomé A., Quiun D., Torrealva D. (1992) Seismic behavior of a three-story half scale confined masonry structure. In Proceedings of the 10th World Conference in Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, Netherlands, July.
30. San Bartolomé A., Delgado E., Quiun D. (2009) Seismic behavior of a two story model of confined adobe masonry. 11th Canadian Symposium, Toronto, Ontario, May 31- June 3.
31. SCT - Secretaría de Comunicaciones y Transportes / IMT - Instituto Mexicano del Transporte (2018) Granulometría de los Agregados Pétreos (M-MMP-2-02-020/18), Normativa para la infraestructura del transporte, México
32. Tanner J.E., Varela J.L., Klinger R.E. (2005) Design and Seismic Testing of Two-Story, Full Scale Autoclaved Aerated Concrete Assemblage Specimen. ACI Structural Journal, Volume 102, Issue 1, 114-119, January 1.
33. Tomaževič M. (1987). Dynamic modelling of masonry buildings: Storey mechanism model as a simple alternative, Earthquake Engineering & Structural Dynamics. Volume 15, Issue 6. p. 731 -749
34. Tomaževič M., Modena C. (1988). Seismic behaviour of mixed, reinforced concrete, reinforced masonry structural systems, Brick and Block Masonry, J.W. DeCourcy, Ed., Elsevier Applied Science, London.
35. Tomaževič M., Weiss P. (1991) Seismic behaviour of masonry buildings: reinforced versus unreinforced masonry. Proceedings of the 9th International Brick/Block Conference, Berlin; p. 552-9.
36. Tomaževič M., Lutman M., Petkovic L. (1996). Seismic Behaviour of Masonry Walls: Experimental Simulation, Earthquake design and structural dynamics. Vol 26, 1059-1071.

37. Tomažević M., Klemenc I. (1997). Seismic behavior of confined masonry walls, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26, 1059 – 1071.
38. Tomažević M., Gams M. (2012). Shaking table study and modelling of seismic behavior of confined AAC masonry buildings. Bull Earthquake Eng. Volume 10, 863-893.
39. Varela-Rivera J., Fernández-Baqueiro L., Alcocer-Canché R., Ricalde-Jiménez J., Chim-May R. (2018). Shear and Flexural Behavior of Autoclaved Aerated Concrete Confined Masonry Walls, ACI Structural Journal, Vol. 115, No.5.
40. Vázquez A. (2005), Ensayo de una vivienda a escala de dos niveles de mampostería confinada. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
41. Xella Mexicana. Disponible en <http://www.hebel.mx> Recuperado el 23 de abril de 2020.
42. Yu J., Cao J., Fei T. (2013). Experimental Study on Improving Seismic Behavior of Load-Bearing Masonry Wall Made of Autoclaved Aerated Concrete. Transaction of Tianjin University, Volume 19, Issue 6, 419-424, December.
43. Zhenggang C., Peng D., Feng F., Ming F. (2017). Cyclic testing and parametric analyses of the fabricated steel frames infilled with autoclaved aerated concrete panels. In Advances in Structural Engineering. Vol 20(4) p. 629 – 640.