



---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN**

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

**“Comportamiento a cortante de muros confinados de  
CCA: Evaluación del daño”**

**TALLER DE INVESTIGACIÓN III**

**PRESENTADA POR:**

**I.C. EDIEL MAURICIO NAAL ESCAMILLA**

**EN OPCIÓN AL GRADO DE**

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

**OPCIÓN ESTRUCTURAS**

**MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO**

**2019**

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 el financiamiento otorgado a través del proyecto de investigación 288718 titulado “Muros de concreto celular de autoclave sujetos a cargas laterales” (FING-2018-0003), así como por la beca otorgada para la realización de estos estudios de Maestría en Ingeniería. Asimismo, le agradezco a la Universidad Autónoma de Yucatán, su apoyo para la realización de dichos estudios.

## Resumen

El concreto celular de autoclave (CCA) es un material ligero compuesto de cemento portland, cal, arena sílica, yeso, agua y aluminio en polvo. Entre los principales tipos de piezas se encuentran los bloques sólidos, los paneles verticales y los paneles horizontales. En México se utilizó por primera vez en el año de 1994 y su uso se ha extendido a diferentes partes de la república. Su principal uso es en la construcción de muros de mampostería confinada con piezas de CCA.

Existen estudios experimentales sobre el comportamiento a cortante de muros de mampostería confinada sujetos a cargas laterales. La mayoría de los estudios se realizaron con muros construidos con piezas de concreto o arcilla. Las principales variables estudiadas fueron el tipo de pieza, la relación de aspecto del muro y el esfuerzo axial de compresión. Para el caso de muros construidos con piezas de CCA, la única variable estudiada fue la relación de aspecto del muro. Por otro lado, en México se cuenta con normas técnicas para el diseño de muros de mampostería, las cuales solo se establecen los requisitos para muros construidos con piezas de concreto o arcilla. En los Estados Unidos de América se cuenta con un código para el diseño de muros de mampostería de CCA, pero no se consideran los muros de mampostería confinada.

Con base en lo anterior, se observa que se requieren más estudios experimentales sobre el comportamiento de muros confinados de CCA sujetos a cargas laterales. Esto permitirá robustecer el conocimiento sobre dichos muros para poder establecer recomendaciones de diseño. El objetivo de este trabajo es evaluar el daño por cortante en muros de mampostería confinada de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. El comportamiento de los muros se evalúa en términos de patrón de agrietamiento, resistencia, capacidad de deformación, degradación de la rigidez, energía disipada y nivel de daño. En este trabajo se ensayaron dos muros con relación de aspecto constante y diferente esfuerzo axial. Posteriormente se evaluó el comportamiento de trece muros en total, incluidos los de este trabajo y de diferentes autores.

Se concluye que el comportamiento de los muros depende de la relación de aspecto y del esfuerzo axial. El nivel de daño puede ser controlado por la capacidad de deformación. Para una capacidad de deformación de 2, la degradación de la rigidez de los muros estudiados es alrededor del 50%.

## ABSTRACT

The autoclaved aerated concrete (AAC) is a light material composed of Portland cement, lime, silica sand, gypsum, water and aluminum powder. The main types of ACC units are solid blocks, vertical panels and horizontal panels. In Mexico, the ACC was first used in 1994 and now it is used in different states of the country. The principal use of the AAC is in the construction of the confined masonry walls in buildings.

There are experimental studies about the shear behavior of confined masonry walls subjected to lateral loads. Most of these studies considered walls made of concrete or clay units. The main study variables were the unit type, the wall aspect ratio and the axial compressive stress. In the studies of walls built with AAC units, the study variable only was the wall aspect ratio. On the other hand, in Mexico there is a code for the design of confined masonry walls. This code has requirements for walls made of concrete and clay units. In USA, there is a code for the design of AAC walls. However, the codes do not include the AAC confined masonry walls.

Therefore, it is necessary to do more studies about the behavior of AAC confined walls subjected to lateral loads. These studies will allow to extend the knowledge on the behavior of these type of walls and establish recommendations for their design. The objective of this thesis is to evaluate the damage caused by shear forces on AAC confined walls subjected to reverse cyclic lateral loads. The wall behavior is evaluated with the cracking pattern, strength, deformation capacity, stiffness degradation, energy dissipated, and the level of damage. In this thesis, two walls were tested with different axial compressive stress and the same wall aspect ratio. Thirteen walls were evaluated in this research, two walls from this thesis and eleven walls from other authors.

It was concluded that the behavior of the walls depends on the wall aspect ratio and the axial compressive stress. The level of damaged can be controlled with the

deformation capacity. For a deformation capacity of 2, the stiffness degradation of the walls studied was about 50%.

# CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Generalidades .....	1
1.2. Objetivo general .....	3
1.3. Alcance .....	3
1.4. Contenido. ....	4
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES .....	5
2.1. Resistencia de muros.....	5
2.2. Estudios sobre muros de mampostería confinada. ....	11
2.3. Estudios sobre muros de CCA. ....	12
2.4. Reglamentaciones existentes .....	19
2.5. Conclusiones de la revisión de literatura .....	19
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	21
3.1. Obtención de propiedades de los materiales .....	21
3.2. Diseño de muros .....	24
3.3. Construcción de muros .....	27
3.4. Diseño del sistema de carga e instrumentación .....	29
3.5. Ensaye de muros .....	32
3.5. Evaluación del daño.....	32
CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....	33



4.1. Propiedades de los materiales .....	33
4.2. Ensaye de los muros.....	37
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS. ....	45
5.1. Patrón de agrietamiento.....	47
5.2. Resistencia. ....	49
5.3. Capacidad de deformación. ....	59
5.4. Degradación de rigidez. ....	68
5.5. Energía disipada. ....	86
5.6. Evolución del daño en muros. ....	92
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	112
BIBLIOGRAFÍA.....	114
APÉNDICE A. PLANOS ESTRUCTURALES .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Muro confinado sujeto a carga axial y lateral. ....	5
Figura 2.2. Falla por flexión de un muro confinado.....	6
Figura 2.3. Grieta de cortante en un muro confinado .....	7
Figura 2.4. Grieta de flexo-cortante en un muro confinado .....	9
Figura 2.5. Desplazamiento como cuerpo rígido de un muro confinado. ....	10
Figura 3.1. Ensaye a compresión de un cubo de CCA.....	21
Figura 3.2. Ensaye a tensión de un bloque de CCA.....	22

Figura 3.3. Ensaye a compresión de un cilindro de concreto.....	22
Figura 3.4. Ensaye a tensión por flexión de vigas de concreto.....	23
Figura 3.5. Ensaye a tensión axial de una barra de acero de refuerzo. ....	23
Figura 3.6. Ensaye a compresión de un cubo de mortero hidráulico.....	24
Figura 3.7. Ensaye a compresión de un cubo de mortero de pared delgada. ....	24
Figura 3.8. Curvas resistencia (carga lateral) – esfuerzo axial de compresión de los muros M-2.64-4.8 y M-2.64-7.2. ....	26
Figura 3.9. Características geométricas de los muros. ....	26
Figura 3.10. Construcción de muros de CCA. ....	28
Figura 3.11. Esquema general del sistema de carga. ....	29
Figura 3.12 Conexión hidráulica del sistema de carga axial. ....	30
Figura 3.13. Esquema general del sistema de instrumentación. ....	30
Figura 3.14. Protocolo de cargas.....	32
Figura 4.1. Fallas observadas en los cubos de CCA.....	34
Figura 4.2. Falla observada en los bloques de CCA. ....	35
Figura 4.3. Falla observada en las vigas de concreto. ....	36
Figura 4.4. Historia de carga lateral del muro M-2.64-4.8. ....	38
Figura 4.5. Historia de distorsión del muro M-2.64-4.8.....	38
Figura 4.6. Historia de la carga axial del muro M-2.64-4.8.....	38
Figura 4.7. Patrón de agrietamiento observado a la carga por flexo-cortante.....	40
Figura 4.8. Patrón de agrietamiento observado a la carga por cortante.....	40
Figura 4.9. Patrón de agrietamiento observado a la carga máxima. ....	40
Figura 4.10. Patrón de agrietamiento observado a la carga última experimental. ....	41
Figura 4.11. Curva carga lateral – desplazamiento del muro M-2.64-4.8.....	41
Figura 4.12. Historia de carga lateral del muro M-2.64-7.2.....	42

Figura 4.13. Historia de distorsión del muro M-2.64-7.2.....	42
Figura 4.14.Historia de la carga axial del muro M-2.64-7.2.....	42
Figura 4.15. Patrón de agrietamiento observado a la carga por flexo-cortante y cortante.....	43
Figura 4.16. Patrón de agrietamiento observado a la carga máxima. ....	44
Figura 4.17. Patrón de agrietamiento observado a la carga última experimental. ....	44
Figura 4.18. Curva carga lateral – desplazamiento del muro M-2.64-7.2.....	44
Figura 5.1. Patrón de agrietamiento final de los muros. ....	48
Figura 5.2. Envolvente de los muros con $H/L= 1.23$ y $f_{CCA}= 53.88 \text{ kg/cm}^2$ .....	49
Figura 5.3. Envolvente de los muros con $H/L= 2.64$ y $f_{CCA}= 53.88 \text{ kg/cm}^2$ .....	51
Figura 5.4. Envolvente de los muros $f_{CCA}= 53.88 \text{ kg/cm}^2$ .....	53
Figura 5.5. Envolvente de los muros $f_{CCA}= 44.13 \text{ kg/cm}^2$ .....	55
Figura 5.6. Envolvente de los muros con esfuerzo axial de $3 \text{ kg/cm}^2$ .....	57
Figura 5.7. Capacidad de deformación en muros con relación de aspecto de 1.23. 59	
Figura 5.8. Capacidad de deformación en muros con relación de aspecto de 2.64. 61	
Figura 5.9. Capacidad de deformación de los muros con $\sigma$ de $3 \text{ kg/cm}^2$ y $f_{CCA}$ de $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .....	62
Figura 5.10. Capacidad de deformación normalizada en muros con $\sigma$ de $3 \text{ kg/cm}^2$ y $f_{CCA}$ de $44.13 \text{ kg/cm}^2$ . ....	64
Figura 5.11. Capacidad de deformación en muros con esfuerzo axial de $3 \text{ kg/cm}^2$ y relación de aspecto de 0.71, 1.94 y 2.64. ....	66
Figura 5.12. Rigidez residual ( $K_i/K_{agr}$ ) en muros con $H/L$ de 1.23 y $f_{CCA}$ de $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .....	69
Figura 5.13.Rigidez residual ( $K_i/K_o$ ) en muros con $H/L$ de 1.23 y $f_{CCA}$ de $53.88 \text{ kg/cm}^2$ . ....	69

Figura 5.14. Rigidez residual al primer agrietamiento de muros con H/L de 2.64 y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> .	72
Figura 5.15. Rigidez residual inicial de muros con H/L de 2.64 y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> .	73
Figura 5.16. Rigidez residual al primer agrietamiento de muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> .	75
Figura 5.17. Rigidez residual inicial de muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> .	76
Figura 5.18. Rigidez residual al primer agrietamiento de muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 44.13 kg/cm <sup>2</sup> .	79
Figura 5.19. Rigidez residual inicial de muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 44.13 kg/cm <sup>2</sup> .	79
Figura 5.20. Rigidez residual al primer agrietamiento de los muros con $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 44.13 kg/cm <sup>2</sup> y diferentes relaciones de aspecto.	82
Figura 5.21. Rigidez residual inicial de muros con $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 44.13 kg/cm <sup>2</sup> y diferentes relaciones de aspecto.	83
Figura 5.22. Energía disipada acumulada en muros con H/L de 1.23 y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> .	86
Figura 5.23. Energía disipada acumulada en muros con H/L de 2.64 y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> .	87
Figura 5.24. Energía disipada acumulada en muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> .	88
Figura 5.25. Energía disipada acumulada en muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 44.13 kg/cm <sup>2</sup> .	89
Figura 5.26. Disipación de energía acumulada en muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> .	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Descripción de la instrumentación utilizada en los muros .....	31
Tabla 4.1. Contenido de Humedad del CCA. ....	33
Tabla 4.2. Resistencia a compresión axial del CCA. ....	34
Tabla 4.3. Resistencia a tensión del CCA. ....	34
Tabla 4.4. Resistencia a compresión axial de los cilindros de concreto. ....	35
Tabla 4.5. Resistencia a tensión por flexión del concreto. ....	36
Tabla 4.6. Resistencia a la fluencia del acero refuerzo. ....	36
Tabla 4.7. Resistencia a compresión del mortero hidráulico. ....	37
Tabla 4.8. Resistencia a compresión del mortero de pared delgada. ....	37
Tabla 4.9. Resumen de eventos principales del muro ensayado. ....	39
Tabla 4.10. Resumen de eventos principales del muro ensayado. ....	43
Tabla 5.1. Características generales de los muros. ....	46
Tabla 5.2. Primer agrietamiento en muros de CCA. ....	46
Tabla 5.3. Carga máxima y carga última en muros de CCA .....	47
Tabla 5.4. Resistencia de los muros con $H/L= 1.23$ y $f_{CCA}= 53.88 \text{ kg/cm}^2$ . ....	50
Tabla 5.5. Resistencia de los muros con $H/L= 2.64$ y $f_{CCA}= 53.88 \text{ kg/cm}^2$ . ....	51
Tabla 5.6. Resistencia de los muros con $\sigma$ de $3 \text{ kg/cm}^2$ y $f_{CCA}$ de $53.88 \text{ kg/cm}^2$ . ....	53
Tabla 5.7. Resistencia de los muros con $\sigma$ de $3 \text{ kg/cm}^2$ y $f_{CCA}$ de $44.13 \text{ kg/cm}^2$ . ....	55
Tabla 5.8. Resistencia de los muros con esfuerzo axial de $3 \text{ kg/cm}^2$ y relación de aspecto de 0.71, 1.94 y 2.64. ....	57
Tabla 5.9. Desplazamiento y capacidad de deformación de los muros con $H/L= 1.23$ y $f_{CCA}= 53.88 \text{ kg/cm}^2$ . ....	60

Tabla 5.10. Desplazamiento y capacidad de deformación de los muros con H/L de 2.64 y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> . .....	61
Tabla 5.11. Desplazamiento y capacidad de deformación de los muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> . .....	62
Tabla 5.12. Desplazamiento de los muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 44.13 kg/cm <sup>2</sup> . .....	64
Tabla 5.13..Desplazamiento de muros con esfuerzo axial de 3 kg/cm <sup>2</sup> y relación de aspecto de 0.71, 1.94 y 2.64.....	66
Tabla 5.14. Rigidez de los muros con H/L = 1.23 y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> . .....	68
Tabla 5.15. Degradación de la rigidez para muros con H/L de 1.23 y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> . .....	71
Tabla 5.16. Rigidez de los muros con H/L = 2.64 y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> . .....	72
Tabla 5.17. Degradación de la rigidez al primer agrietamiento y a la inicial en muros con H/L de 2.64 y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> . .....	74
Tabla 5.18. Rigidez de los muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> .....	75
Tabla 5.19. Degradación de la rigidez al primer agrietamiento y a la a inicial en muros con $\sigma$ = 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> .....	77
Tabla 5.20. Rigidez de los muros con $\sigma$ = 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 44.13 kg/cm <sup>2</sup> .....	78
Tabla 5.21. Degradación de la rigidez al primer agrietamiento y a la inicial en muros con $\sigma$ = 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 44.13 kg/cm <sup>2</sup> .....	81
Tabla 5.22. Rigidez de los muros con $f_{CCA}$ de 44.13 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> , y diferentes relaciones de aspecto. ....	82
Tabla 5.23. Degradación de la rigidez al primer agrietamiento y a la inicial en muros con $f_{CCA}$ de 44.13 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> , a diferentes relaciones de aspecto. ....	85
Tabla 5.24. Nivel de daño en muros con H/L de 1.23 y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> .....	93

Tabla 5.25. Capacidad de deformación, resistencia y degradación de la rigidez de muros con $H/L = 1.23$ con respecto a $\Delta_p$ .....	94
Tabla 5.26. Evolución del daño de muros con $H/L$ de 1.23 y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> ..	95
Tabla 5.27. Nivel de daño en muros con relación de aspecto de 2.64 y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> .....	97
Tabla 5.28. Capacidad de deformación, resistencia y degradación de la rigidez de muros con $H/L = 2.64$ con respecto a $\Delta_p$ .....	98
Tabla 5.29. Evolución del daño de muros con $H/L$ de 2.64 y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> ..	99
Tabla 5.30. Nivel de daño en muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> .....	101
Tabla 5.31. Capacidad de deformación, resistencia y degradación de la rigidez de muros con $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> .....	102
Tabla 5.32. Evolución del daño de muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 53.88 kg/cm <sup>2</sup> . .....	104
Tabla 5.33. Patrón de agrietamiento en muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 44.13 kg/cm <sup>2</sup> .....	106
Tabla 5.34. Capacidad de deformación, resistencia y degradación de la rigidez de muros con $f_{CCA}$ de 44.13 kg/cm <sup>2</sup> .....	108
Tabla 5.35. Evolución del daño de muros con $\sigma$ de 3 kg/cm <sup>2</sup> y $f_{CCA}$ de 44.13 kg/cm <sup>2</sup> . .....	110

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Generalidades

El concreto celular de autoclave (CCA) es un material ligero compuesto de cemento portland, cal, arena sílica, yeso, agua y aluminio en polvo. El CCA se fabrica mezclando los primeros cinco ingredientes en un molde hasta formar una mezcla fluida. Posteriormente, se agrega el aluminio en polvo, el cual funciona como un agente expansivo. La mezcla incrementa su volumen entre dos y tres veces en aproximadamente 4 horas. Después de la expansión, la mezcla es capaz de mantener su forma y soportar su peso propio. Se retira el molde y se corta la mezcla para formar las piezas deseadas. Posteriormente, se introducen las piezas en un autoclave para su proceso de curado por un período de 8 a 12 horas. La presión y temperatura en el autoclave son aproximadamente de  $12 \text{ kg/cm}^2$  y  $180^\circ\text{C}$ , respectivamente. Después del proceso de curado las piezas de CCA se empacan y están listas para ser transportadas a la obra. Entre los principales tipos de piezas se encuentran los bloques sólidos, los paneles verticales y los paneles horizontales. El CCA se produce en clases con resistencias a compresión axial 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).

El CCA fue producido comercialmente por primera vez en Suecia en el año de 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. El CCA se comenzó a utilizar en los Estados Unidos de América en el año de 1990. Por su parte, en México se utilizó por primera vez en el año de 1994. Su uso se ha extendido a diferentes partes de la república como son Nuevo León, Ciudad de México, Puebla, Guanajuato, San Luis Potosí, Tamaulipas, Estado de México y Yucatán.

Los muros de mampostería se utilizan ampliamente en la construcción de viviendas. Estos muros se pueden clasificar en no reforzados, reforzados interiormente y



confinados, entre otros. Los muros de mampostería confinada son aquellos que están reforzados en su periferia con elementos horizontales de concreto reforzado (daldas o cadenas) y verticales (castillos). En este tipo de muros primero se construye el panel de mampostería y posteriormente los elementos confinantes. En México se utilizan principalmente muros de mampostería confinada debido a su bajo costo y facilidad constructiva. Los muros de mampostería confinada se construyen principalmente con piezas de concreto o de arcilla. En los últimos años se ha empezado a construir muros de mampostería confinada con piezas de CCA.

Existen estudios experimentales sobre el comportamiento a cortante de muros de mampostería confinada sujetos a cargas laterales. La mayoría de los estudios se realizaron con muros construidos con piezas de concreto o de arcilla (Meli 1979, San Bartolomé et al. 1992, Castilla et al. 2000, Yoshimura et al. 2000, Urzúa et al. 2001, Flores et al. 2004, Treviño et al. 2004, Tena et al. 2009, San Bartolomé et al. 2010, Pérez-Gavilán et al. 2011, Raygoza 2012, Sosa 2013, Quiroz et al. 2014, Pérez-Gavilán et al. 2015, Ventura 2015, Singhal et al. 2016). Las principales variables estudiadas fueron el tipo de pieza, la relación de aspecto y el esfuerzo axial de compresión. Para el caso de muros construidos con piezas de CCA, la única variable estudiada fue la relación de aspecto (Varela et al. 2018, Pinto 2018). En estos estudios se observó que el comportamiento puede estar dominado por cortante diagonal o por flexo-cortante. El comportamiento a cortante de los muros se caracterizó por grietas diagonales que eventualmente forman un patrón en forma de "X". La falla por cortante estuvo asociada con la propagación de las grietas diagonales a los extremos de los castillos. El comportamiento por flexo-cortante de los muros estuvo asociado con la formación de una grieta horizontal en el castillo y su posterior propagación en forma diagonal en el panel de mampostería. La falla estuvo asociada con la formación de nuevas grietas diagonales por cortante en el panel de mampostería. Estas grietas diagonales se propagaron a los extremos de los castillos.

En México se cuenta con normas técnicas para el diseño de muros de mampostería (GCM 2017). En estas normas se establecen los requisitos para el diseño de muros

no reforzados, reforzados interiormente y confinados, entre otros. Los requisitos para muros de mampostería confinada se establecen para muros construidos con piezas de concreto o arcilla. A su vez, en los Estados Unidos de América se cuenta con un reglamento para el diseño de muros de mampostería de CCA (ACI 2013). En este reglamento sólo se consideran muros de CCA no reforzados y reforzados interiormente.

Con base en lo anterior se observa que existen pocos estudios experimentales sobre el comportamiento a cortante de muros de mampostería confinada de CCA. A su vez no existe una normativa para el diseño de este tipo de muros. Por lo tanto, es importante realizar nuevos estudios experimentales donde se consideren el efecto de otras variables como son la resistencia a compresión del CCA, el esfuerzo axial de compresión y la relación de esbeltez de los muros. La información obtenida servirá para ampliar el conocimiento sobre el comportamiento a cortante y desarrollar especificaciones de diseño para este tipo de muros.

## **1.2. Objetivo general**

Evaluar el daño por cortante en muros de mampostería confinada de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles.

## **1.3. Alcance**

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación cuyo objetivo es evaluar el comportamiento a cortante de muros de mampostería confinada de CCA. En esta primera etapa del proyecto, se ensayaron ocho muros sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Las variables de estudio de la primera etapa fueron la relación de aspecto y el esfuerzo axial de compresión del muro. En esta tesis se ensayaron dos muros con relación de aspecto constante y diferente esfuerzo axial. Se analizaron los resultados de los ocho muros de esta primera etapa junto con otros resultados experimentales obtenidos en la literatura. Se evaluó el daño de los muros

en términos de los patrones de agrietamiento, la capacidad de deformación, la degradación de rigidez, la degradación de resistencia y la energía disipada.

#### **1.4. Contenido.**

En el Capítulo 1 se incluyen las generalidades, el objetivo y el alcance de la tesis. En el Capítulo 2 se presenta el comportamiento de muros de mampostería con cargas en el plano, la revisión de la literatura de muros de mampostería confinada y muros de CCA con comportamiento dominado por cortante y la reglamentación existente. En el Capítulo 3 se presenta la metodología, la cual incluye: obtención de propiedades de materiales, diseño de muros, construcción de muros, diseño del sistema de carga e instrumentación, ensaye de muros y la evaluación del daño. En el Capítulo 4 se presentan las propiedades de los materiales y los resultados de los ensayos de los muros de mampostería confinada de CCA. En el Capítulo 5 se presenta el análisis de los resultados de los muros de mampostería confinada de CCA y la evaluación de la evolución del daño. En el Capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones de la tesis.

## CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Resistencia de muros

La combinación de carga axial ( $P$ ) y carga lateral ( $V$ ) en un muro de mampostería, empotrado en su base y libre en su parte superior (**Error! Reference source not found.**) puede inducir diversos mecanismos de falla asociados con la resistencia a flexión, cortante, flexo-cortante y deslizamiento. Para un muro con altura ( $H$ ), longitud ( $L$ ) y castillos de concreto reforzado con un ancho y una altura igual al espesor del muro ( $t$ ), las resistencias anteriores se pueden determinar como sigue:

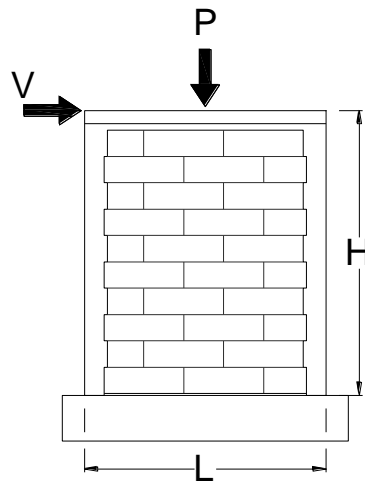


Figura 2.1. Muro confinado sujeto a carga axial y lateral.

**Resistencia a flexión.** Está asociada con el aplastamiento del concreto en la zona de compresión o con la fractura del acero de refuerzo en tensión (Figura 2.2).

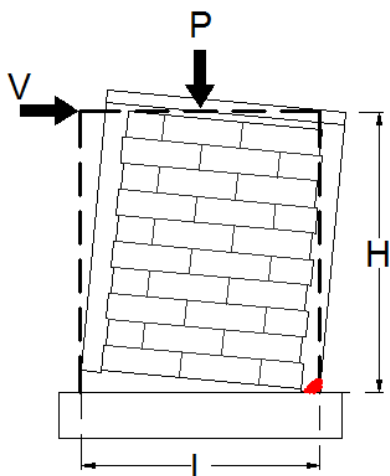


Figura 2.2. Falla por flexión de un muro confinado.

La resistencia a flexión se puede determinar con base en las hipótesis de la teoría de flexión (cinemática, constitutiva y equilibrio). Si se asume una distribución lineal de deformaciones, un bloque rectangular equivalente para los esfuerzos de compresión en el concreto reforzado y una profundidad del eje neutro ( $c$ ) localizado dentro del castillo en compresión, la resistencia a flexión ( $M_f$ ) del muro puede determinarse con la ecuación (2-1).

$$M_f = C \left( \frac{L - \beta_1 c}{2} \right) + T \left( \frac{L}{2} - r \right) \quad (2-1)$$

Donde

$$C = 0.85 f'_c \beta_1 c t \quad (2-2)$$

$$T = A_s f_s \quad (2-3)$$

$$P = C - T \quad (2-4)$$

En las ecuaciones anteriores,  $\beta_1$  es el parámetro que relaciona la profundidad del bloque equivalente de esfuerzos de compresión del concreto con el eje neutro,  $C$  es la fuerza resultante de los esfuerzos de compresión,  $T$  es la fuerza de tensión en el

acero de refuerzo del castillo,  $r$  es el recubrimiento de dicho acero,  $f'_c$  es la resistencia a compresión axial del concreto,  $A_s$  es el área de acero de refuerzo del castillo en tensión y  $f_s$  es el esfuerzo en dicho acero, obtenido a partir del modelo constitutivo propuesto por Rodríguez y Botero (1996). La carga lateral ( $V_f$ ) asociada a la resistencia a flexión se puede determinar con la ecuación (2-5).

$$V_f = M_f / H \quad (2-5)$$

**Resistencia a cortante.** Esta resistencia está asociada con la aparición del primer agrietamiento diagonal en el panel del muro de mampostería (Figura 2.3).

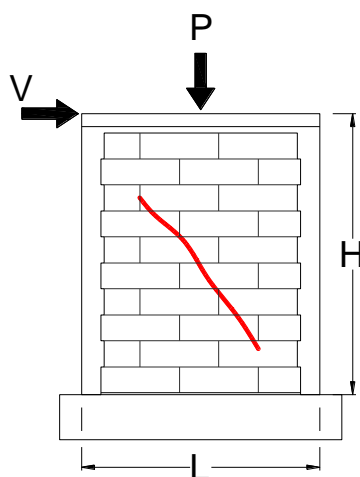


Figura 2.3. Grieta de cortante en un muro confinado

Para muros de CCA no reforzados y reforzados interiormente, la resistencia nominal a cortante puede determinarse con la ecuación (2-6) especificada en el ACI-530 (ACI 2013). Esta ecuación se basa en la teoría de los esfuerzos principales.

$$V_{C1} = 0.95 L t \sqrt{f_{CCA}} \sqrt{1 + \frac{P}{2.4 \sqrt{f_{CCA}} L t}} \quad (2-6)$$

En la ecuación anterior,  $f_{CCA}$  es la resistencia a compresión axial del CCA. La resistencia a tensión del CCA ( $f_{tCCA}$ ) es igual a  $2.4 \sqrt{f_{CCA}}$ . (Tanner 2003). Por tanto,

la ecuación (2.6) puede reescribirse como se presenta en la ecuación (2-7). La resistencia a cortante de las ecuaciones (2-6) y (2-7) se encuentra en libras.

$$V_{C1} = 0.395 f_{tCCA} L t \sqrt{1 + \frac{P}{f_{tCCA} L t}} \quad (2-7)$$

Varela et al. (2018) propusieron la ecuación (2-8) para determinar la resistencia a cortante de muros de mampostería confinada de CCA Clase 4. Esta ecuación se basa en la ecuación (2-7) y considera explícitamente la influencia de la relación de aspecto. La resistencia a cortante de la ecuación (2-8) se encuentra en kilogramos.

$$V_{cCCA1} = \left(0.78 - 0.14 \frac{H}{L}\right) f_{tCCA} L t \sqrt{1 + \frac{P}{f_{tCCA} L t}} \quad (2-8)$$

Por otro lado, para muros de mampostería confinada construidos con piezas de concreto o arcilla, la resistencia nominal a cortante puede determinarse con la ecuación (2-9) (GCM 2017a). Esta ecuación se basa en la teoría de Mohr-Coulomb.

$$V_{C2} = [(0.5 v'_m A_t + 0.3 P) * f] \leq 1.5 v'_m A_t f \quad (2-9)$$

En la ecuación anterior,  $v'_m$  es la resistencia a compresión diagonal de diseño de la mampostería,  $A_t$  es el área de la sección transversal del muro y  $f$  es un factor que se encuentra en función de la relación de aspecto. La resistencia a compresión diagonal promedio del CCA ( $v_m$ ) se puede relacionar con la resistencia a tensión promedio del CCA ( $f_{tCCA}$ ) por medio de la ecuación (2-10). Esta ecuación se validó utilizando datos de ensayos a compresión diagonal de muretes construidos con piezas de CCA Clase 4 (Hernández 2015) y el ensaye de bloques de CCA Clase 4 (Varela et al. 2018).

$$v_m = \frac{\pi}{2} f_{tCCA} \quad (2-10)$$

La resistencia a cortante puede determinarse con la ecuación (2-11) en las que se considera la influencia de la relación de aspecto. La ecuación que se presenta se encuentra kilogramos.

$$V_{cCCA2} = \left(0.85 - 0.15 \frac{H}{L}\right) (f_{tCCA} L t + 0.3 P) \quad (2-11)$$

**Resistencia a flexo-cortante.** Esta resistencia está asociada con la formación de una grieta horizontal a una altura igual a longitud media del muro y su posterior propagación en forma diagonal (Figura 2.4).

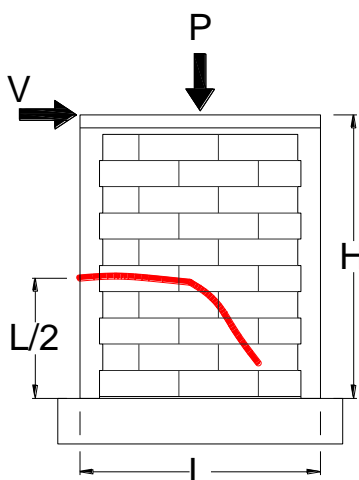


Figura 2.4. Grieta de flexo-cortante en un muro confinado

La carga lateral asociada a la resistencia a flexo-cortante ( $V_{fc}$ ) puede determinarse con la ecuación (2-12). El primer término de la ecuación se relaciona con la carga requerida para formar la grieta horizontal en el castillo. El segundo con la carga adicional que se requiere para inducir la grieta diagonal en el panel de mampostería ( $C_v$ ). La primera carga se determina con la mecánica de materiales y la segunda con base en pruebas experimentales.

$$V_{fc} = \frac{S_x \left(f_r + \frac{P}{L t}\right)}{H - \frac{L}{2}} + C_v \quad (2-12)$$



En la ecuación anterior  $S_x$  es el módulo de sección de la sección transversal del muro y  $f_r$  es la resistencia a tensión por flexión del material.

Para muros de mampostería confinada de CCA Clase 4, la resistencia a flexo-cortante del muro puede determinarse con la ecuación (2-13) (Varela et al. 2018). Esta ecuación es una modificación a la ecuación (2-12) en la que se asume el agrietamiento por flexo-cortante a una altura igual  $L/2$  y se usa  $A_t$  como el área transformada de la sección del transversal del panel del muro de CCA a concreto. Esta ecuación no incluye el término  $C_v$  debido a que en los muros estudiados la parte diagonal de la grieta por flexo-cortante se presentó al mismo tiempo que la parte horizontal. La resistencia a flexo-cortante de la ecuación (2-13) se encuentra en kilogramos.

$$V_{fcCCA} = 0.82 \left( \frac{S_x \left( f_r + \frac{P}{L t} \right)}{H - \frac{L}{2}} \right) \quad (2-13)$$

**Resistencia al deslizamiento.** Esta resistencia está asociada con el desplazamiento relativo del muro con respecto a su base (Figura 2.5).

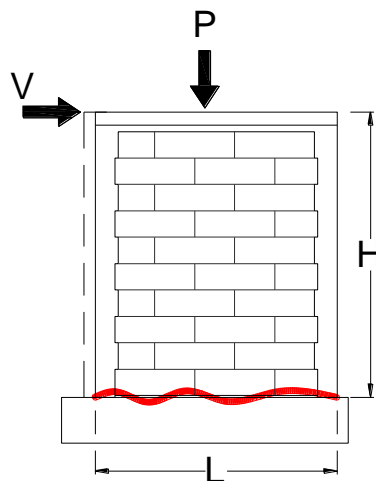


Figura 2.5. Desplazamiento como cuerpo rígido de un muro confinado.

La resistencia al deslizamiento es proporcional al producto de la fuerza normal de compresión (P) y el coeficiente de fricción entre el CCA y el concreto de la base ( $\mu$ ) ecuación ((2-14). La resistencia a deslizamiento de la ecuación (2-14) se encuentra en kilogramos.

$$V_D = \mu \cdot P \quad (2-14)$$

La resistencia al deslizamiento se puede determinar también con la ecuación (2-15) (González 2013). En esta ecuación se considera la contribución del mortero en la resistencia al deslizamiento. Donde  $A_t$  está dada en centímetros cuadrados. La resistencia a deslizamiento de la (2-15) se encuentra en kilogramos.

$$V_D = A_t (1.3673 \sigma + 1.8498) \quad (2-15)$$

## **2.2. Estudios sobre muros de mampostería confinada.**

El comportamiento a cortante de muros de mampostería confinada sujetos a cargas laterales ha sido ampliamente estudiado. La mayoría de los estudios se realizaron con muros construidos con piezas de concreto o de arcilla. En estos estudios se han considerado diferentes variables como son el tipo de pieza (Meli 1979, San Bartolomé et al. 2010), la combinación de piezas de concreto y arcilla (Tena et al. 2009), el tipo y la cantidad de acero de refuerzo en los castillos (Treviño et al. 2004; Quiroz et al. 2014), la cantidad y separación de acero de refuerzo vertical y horizontal en el panel de mampostería (Yoshimura et al. 2000), el esfuerzo axial de compresión (Castilla et al. 2000, Urzúa et al. 2001; Raygoza 2012; Sosa 2013), la relación de aspecto (H/L) (San Bartolomé 1992; Castilla et al. 2000, Raygoza 2012; Sosa 2013, Pérez-Gavilán 2015), el dentado (Singhal et al. 2016), la interacción entre el momento flexionante y la fuerza cortante (Pérez-Gavilán et al. 2011), las aberturas en los muros (Flores et al. 2004) y la cantidad y distribución de elementos confinantes (Ventura 2015).

### 2.3. Estudios sobre muros de CCA.

Tanner et al. (2005a) ensayaron 17 muros de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Se estudiaron nueve muros con comportamiento dominado por cortante. Los muros fueron reforzados interiormente con acero de refuerzo vertical en los extremos y uniformemente distribuido a lo largo de la longitud de los muros. Todos los muros se construyeron utilizando un mortero de pared delgada. Las variables de estudio fueron la relación de aspecto, la carga axial y el tipo de pieza. Los muros con comportamiento dominado por cortante fueron construidos a base de bloques sólidos y de paneles horizontales y verticales con refuerzo interior. Se consideraron relaciones de aspecto entre 0.63 y 3.15, y esfuerzos axiales de compresión entre 0.22 MPa y 0.57 MPa (2.23 kg/cm<sup>2</sup> y 5.8 kg/cm<sup>2</sup>). El comportamiento de los muros dominados por cortante se caracterizó por agrietamiento diagonal en ambas direcciones, y en algunos casos por deslizamiento en las juntas. La falla de los muros se asoció al excesivo agrietamiento diagonal y al aplastamiento del CCA. Finalmente, propusieron requisitos para el diseño de muros de CCA, los cuales incluyen las resistencias por cortante, aplastamiento del puntal diagonal, deslizamiento y flexión.

Penna et al. (2008) ensayaron 14 muros de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Las variables de estudio fueron el tipo de refuerzo utilizado, la relación de aspecto y el esfuerzo axial de compresión. Se consideraron cuatro muros no reforzados, tres muros reforzados con acero horizontal, dos con acero vertical en sus extremos y cinco muros diafragma. Los muros se construyeron utilizando bloques sólidos y mortero de pared delgada. La relación de aspecto de los muros varió entre 0.61 a 1.83. La carga axial varió entre 0.22 MPa y 0.65 MPa (2.22 kg/cm<sup>2</sup> y 6.67 kg/cm<sup>2</sup>). Los muros con relación de aspecto de 0.61 tuvieron un comportamiento dominado por cortante, mientras que los muros con una relación de aspecto de 1.83 por flexión. Los autores concluyeron que los muros reforzados interiormente presentaron un incremento significativo de su resistencia a flexión comparado con los no reforzados. El uso de acero de refuerzo horizontal demostró una mejora en el control del agrietamiento y un incremento en la ductilidad. El uso

de paneles de mampostería de CCA en marcos de concreto reforzado incrementa la resistencia a flexión y la rigidez del marco sin reducir su capacidad de deformación.

Costa et al. (2011) ensayaron cuatro muros de mampostería no reforzada ante cargas laterales cíclicas reversibles. Estos muros se construyeron utilizando bloques sólidos de CCA de 62.5 cm x 25 cm x 30 cm (base x altura x espesor). Las variables de estudio fueron la relación de aspecto y el esfuerzo axial. Se consideraron tres relaciones de aspecto: 0.61 (un muro), 0.91 (un muro) y 1.83 (dos muros). Se aplicaron tres niveles de carga axial: 0.22 MPa, 0.44 MPa y 0.67 MPa. Los muros con relación de aspecto de 0.61 y 0.91 tuvieron comportamiento dominado por cortante. Los muros con relación de aspecto de 1.83 tuvieron comportamiento dominado por flexión. Los muros con relación de aspecto de 1.83 alcanzaron el mismo nivel de desplazamiento máximo, aunque se ensayaron a diferentes cargas verticales. Concluyeron que para muros no reforzados de longitud considerable con comportamiento dominado por cortante se recomiendan distorsiones últimas entre 0.3 y 0.35%. Para muros no reforzados dominados por flexión, se recomienda una distorsión última de 0.5%.

Tomazevic et al. (2012) ensayaron 10 muros de CCA y 3 edificios, a escala 1:4. Los muros se ensayaron bajo cargas laterales cíclicas reversibles y los edificios en una mesa sísmica vibratoria. Los muros se construyeron con bloques sólidos de CCA a escala 1:4 y mortero de pared delgada. Para los muros la variable de estudio fue el refuerzo en el muro. Se consideraron cuatro muros no reforzados y seis reforzados interiormente con acero vertical en los extremos. 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. 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 edificios se construyeron a base de muros de bloques sólidos de CCA reforzados interiormente con acero vertical. Las variables de estudio fueron el número de niveles, la orientación de la excitación y el peso del edificio. Se consideraron edificios de 3 y 4

niveles, excitaciones en dirección ortogonal y paralela al eje de simetría, y pesos de 27.45 kN a 44.99 kN (2799 kg a 4588 kg). Todos los edificios presentaron un comportamiento dominado por cortante. La falla estuvo asociada al excesivo daño en los muros del primer piso y su posterior colapso. Los autores concluyeron que el uso del refuerzo interior incrementó la resistencia a cortante de los muros y aseguró la integridad de la estructura hasta el colapso.

Ravichandran et al. (2012) estudiaron el comportamiento de 1 muro diafragma de CCA sujeto a cargas laterales cíclicas reversibles. El muro consistió en un marco de acero y un panel de mampostería de bloques sólidos de CCA. Se utilizó mortero de pared delgada en la construcción del panel de mampostería. Primero se estudió el comportamiento del marco de acero sin el panel. Posteriormente, fue construido un panel de mampostería no reforzada de CCA en el interior del marco. El comportamiento del muro estuvo dominado por cortante. La falla se asoció al excesivo agrietamiento diagonal. Los autores concluyeron que las recomendaciones de diseño para muros diafragma de CCA de la Masonry Standards Joint Committee (MSJC) dan una buena aproximación de la rigidez lateral. Con base en los resultados experimentales obtenidos, propusieron un modelo analítico que representa el comportamiento histerético de los muros diafragma de CCA con un marco de acero.

Mandirola et al (2012) ensayaron 3 muros de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Las variables de estudio fueron el tipo de refuerzo en el muro y el esfuerzo axial de compresión. Se consideraron dos muros con acero de refuerzo horizontal en las juntas y uno no reforzado. Los muros se construyeron utilizando bloques sólidos de CCA y mortero de pared delgada. Se consideró una relación de aspecto de 0.8 y esfuerzos axiales de compresión entre 0.40 MPa y 0.60 MPa (4.08 kg/cm<sup>2</sup> y 6.12 kg/cm<sup>2</sup>). El comportamiento de los muros fue dominado por cortante, se presentaron grietas diagonales en ambas direcciones. La falla se asoció al excesivo agrietamiento diagonal y al aplastamiento del CCA. Los autores concluyeron que el uso de refuerzo horizontal disminuye la extensión de las grietas,

incrementa la capacidad de deformación del muro y la resistencia a cortante del muro.

Yu et al. (2013) ensayaron 6 muros de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Se consideraron cinco muros con castillos en los extremos 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  $7.13 \text{ kg/cm}^2$ . 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.

Bose et al. (2014) evaluaron el comportamiento de un muro diafragma a escala 1:2.5 sujeto a cargas laterales cíclicas reversibles. El marco del muro fue de concreto reforzado. El panel de mampostería se construyó con bloques sólidos de CCA y utilizando mortero pared delgada. Se consideró un esfuerzo axial de  $0.066 \text{ kg/cm}^2$ . Primero se ensayó el marco de concreto sin el panel de CCA. Posteriormente se ensayó el marco de concreto con el panel. El comportamiento del muro fue dominado por cortante. El panel presentó agrietamiento diagonal en ambos sentidos. La falla final fue caracterizada por la formación de articulaciones plásticas en las columnas de concreto reforzado y el aplastamiento del panel en la zona de compresión. Los autores concluyeron que a niveles de distorsión bajos el panel toma la mayor parte del esfuerzo cortante. Al incrementarse la distorsión hay 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.

Cao et al. (2016) estudiaron el comportamiento de un muro diafragma de dos niveles a escala 1:2 sujeto a cargas laterales cíclicas reversibles. El marco del muro fue de acero con una altura de 150 cm por nivel y un claro de 200 cm. Las columnas fueron perfiles IR 150 mm x 150 mm x 8 mm x 10 mm (peralte x ancho de patín x espesor de alma x espesor de patín) y las vigas perfiles IR 200 mm x 100 mm x 5.5 mm x 8mm (peralte x patín x espesor de alma x espesor de patín) conectados rígidamente. Dentro del marco se colocaron 6 paneles sólidos de CCA por nivel de 30 cm x 130 cm x 6 cm (base x altura x espesor) unidos con conectores tipo U a los elementos metálicos. Las juntas entre los paneles fueron rellenas con mortero. Primero se estudió el comportamiento del marco de acero sin el panel. Posteriormente se realizó la prueba con el panel en el interior. El panel presentó agrietamiento en el punto de conexión con el marco. La falla final fue caracterizada por el pandeo local del patín en la base de la columna. Los autores concluyeron que los paneles de CCA incrementan la rigidez inicial, carga máxima, distorsión y capacidad de disipar la energía. Después de un severo agrietamiento en el panel de CCA la contribución de la rigidez puede ser ignorada.

Rosti et al. (2016) ensayaron seis muros de mampostería no reforzados ante cargas laterales cíclicas reversibles. Los muros se construyeron utilizando bloques sólidos de CCA de 50 cm x 25 cm x 30 cm (base x altura x espesor) y densidad de 360 kg/m<sup>3</sup>. Las variables de estudio fueron la relación de aspecto y el esfuerzo axial. Se consideraron dos relaciones de aspecto: 0.8 (dos muros) y 2.0 (cuatro muros). Los esfuerzos axiales aplicados fueron de 2.7 kg/cm<sup>2</sup>, 4.0 kg/cm<sup>2</sup> y 5.3 kg/cm<sup>2</sup>. Se concluyó que el mecanismo de falla para los muros con relación de aspecto de 0.8 fue por cortante y para los muros con relación de aspecto de 2.0 por flexión. También se concluyó que la capacidad de deformación de los muros de CCA decrece conforme se incrementa el esfuerzo axial de compresión. Este comportamiento está relacionado a la baja capacidad de deformación de este tipo de mampostería e implica un límite a las cargas axiales aplicadas.

Wang et al. (2017) estudiaron el comportamiento de cuatro muros diafragma sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Los marcos fueron de acero con un largo de

330 cm y una altura 235 cm. Las columnas fueron perfiles tubulares rectangulares de 200 mm x 200 mm x 10 mm (base x peralte x espesor) rellenos de concreto con resistencia a compresión de  $400\text{kg/cm}^2$ . Las vigas fueron perfiles IR de 300 mm x 150 mm x 6.5 mm x 9 mm (peralte x base de patín x espesor del alma x espesor del patín). En los dos primeros marcos se colocaron 5 paneles sólidos de CCA clase 4 de 60 cm x 250 cm x 15 cm (base x altura x espesor) conectados externamente. En el tercer marco se emplearon paneles sólidos de CCA Clase 4 de 60 cm x 220 cm x 15 cm (base x altura x espesor) conectados internamente. En el cuarto marco se construyó un panel de mampostería de bloques de CCA Clase 4 de 60 cm x 24 cm x 15 cm (base x altura x espesor) conectados internamente. Primero se estudió el comportamiento de un marco de acero y posteriormente se ensayaron los muros diafragma. El comportamiento de los muros estuvo dominado por cortante. Los autores concluyeron que conectar el panel de manera externa no mejora la resistencia y rigidez del marco. Reportaron valores de ductilidad para muros diafragma con columnas rellenas que van de 2.88 a 3.00.

Chim (2017) ensayó dos 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. La variable de estudio fue la relación de aspecto. Se consideraron relaciones de aspecto de 1.94 (Mc3) y 2.64 (Mc4). La altura de los muros fue de 240 cm y el espesor de 15 cm. El esfuerzo axial de compresión aplicado fue de  $3.30\text{ kg/cm}^2$ . Durante el ensayo, los muros se comportaron como un elemento monolítico. El primer agrietamiento fue por flexo-cortante, inducido por un agrietamiento por flexión en los castillos. 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" en el panel de mampostería. Concluyó que la degradación de la resistencia posterior a la carga máxima es menor al 20%. Además, la rigidez, la carga de agrietamiento por cortante y la carga máxima incrementan conforme la relación de aspecto disminuye. El desplazamiento de agrietamiento por cortante aumenta conforme la relación de aspecto incrementa. La energía disipada de los muros incrementa conforme la relación de aspecto disminuye. Presenta la calibración del



modelo de histéresis propuesto el cual ajusta adecuadamente el comportamiento a cortante de los muros ensayados.

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 kg/cm<sup>2</sup>. 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 kg/cm<sup>2</sup>, 4.8 kg/cm<sup>2</sup> y 7.2 kg/cm<sup>2</sup>. 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. Observaron 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.

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 3.00 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.

## **2.4. Reglamentaciones existentes**

En México se cuenta con las Normas Técnicas para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM) (GCM 2017). En estas normas se establecen los requisitos mínimos para el diseño de muros no reforzados, muros reforzados interiormente y muros confinados, entre otros. Los requisitos de diseño para muros confinados establecidos en las NTCM son para muros construidos con piezas de concreto o arcilla. Por otro lado, en los Estados Unidos de América se cuenta con el Código de Requerimientos Constructivos y Especificaciones para Estructuras de Mampostería (Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures) (ACI-530) (ACI 2013). En este código se establecen los requisitos mínimos para el diseño de muros de CCA. Sin embargo, el alcance de este reglamento es solo para muros no reforzados, reforzados interiormente y diafragma.

## **2.5. Conclusiones de la revisión de literatura**

Con base en la revisión de literatura presentada anteriormente se concluye que existe una gran cantidad de estudios sobre el comportamiento a cortante de muros de mampostería confinada sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. En estos estudios los muros fueron construidos con piezas de concreto o arcilla. Las principales variables estudiadas fueron la relación de aspecto, el tipo de pieza, el esfuerzo axial de compresión y la cantidad y disposición del acero de refuerzo.

Existen pocos estudios sobre el comportamiento a cortante de muros de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Estos estudios se enfocaron principalmente

en muros no reforzados, reforzados interiormente y muros diafragma. Las variables estudiadas fueron la relación de aspecto, el esfuerzo axial de compresión, el tipo de pieza y la cantidad y disposición del acero de refuerzo.

En los últimos años se han realizado estudios de muros de mampostería confinada de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Estos estudios se realizaron con muros construidos con bloques sólidos de CCA Clase 4. De igual manera, no existe una normativa para el diseño de este tipo de muros. Por lo tanto, es necesario realizar más estudios considerando el efecto de otras variables como son la Clase del CCA, el esfuerzo axial de compresión y la relación de esbeltez de los muros.

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Las actividades realizadas en la metodología fueron: (1) determinación de las propiedades de los materiales, (2) diseño de muros, (3) construcción de muros, (4) diseño del sistema de carga e instrumentación, (5) ensaye de muros, (6) evaluación de la evolución de daño. Los detalles de las actividades se presentan en las siguientes secciones.

### 3.1. Obtención de propiedades de los materiales

El contenido de humedad y la resistencia a compresión del CCA se determinaron con base en la norma ASTM C1693. Cada propiedad se determinó con nueve cubos de 10 cm por lado. El ensaye a compresión de los cubos se realizó en una máquina universal con capacidad de 60 ton (Figura 3.1Figura 3.1). Las cargas aplicadas por la máquina universal se validaron con un sistema de adquisición de datos independiente a través de una celda de carga con capacidad de 22.67 ton.



Figura 3.1. Ensaye a compresión de un cubo de CCA.

La resistencia a tensión del CCA se determinó con base en la norma ASTM C1006-01. Se utilizaron seis bloques con dimensiones de 15 cm x 20 cm x 61 cm (espesor x altura x longitud). El ensaye de los bloques se realizó en una máquina universal con capacidad de 60 ton (Figura 3.2). Las cargas aplicadas por la máquina universal se

validaron con un sistema de adquisición de datos independiente a través de una celda de carga con capacidad de 4.53 ton.

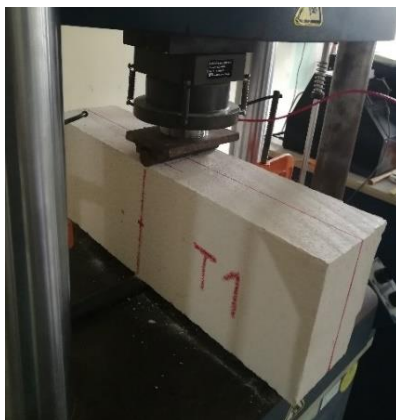


Figura 3.2. Ensaye a tensión de un bloque de CCA.

La resistencia a compresión del concreto se determinó con base en la norma ASTM C39/C39M-18. Se utilizaron seis cilindros de 15 cm x 30 cm (diámetro x altura) para cada muro. Se utilizó el concreto empleado en la construcción de los castillos. Los ensayos se realizaron en una máquina universal con capacidad de 60 ton (Figura 3.3).



Figura 3.3. Ensaye a compresión de un cilindro de concreto.

La resistencia a tensión por flexión del concreto se determinó con base en la norma ASTM C 78-02. Se utilizaron tres vigas con dimensiones de 15 cm x 15 cm x 75 cm

(espesor x altura x longitud). El ensaye se realizó en una máquina universal con capacidad de 60 ton (Figura 3.4).



Figura 3.4. Ensaye a tensión por flexión de vigas de concreto.

La resistencia a la fluencia del acero de refuerzo longitudinal de los castillos y la cadena superior de los muros se determinó con base en la norma ASTM A 370-02. Se utilizaron dos barras de 50 cm de longitud. El ensaye se realizó en una máquina universal con capacidad de 60 ton (Figura 3.5).



Figura 3.5. Ensaye a tensión axial de una barra de acero de refuerzo.

La resistencia a compresión del mortero hidráulico se determinó con base en la norma ASTM C 109 / C 109M-07. Se utilizaron tres cubos de 5 cm por lado. Se utilizó mortero en proporciones por volumen 1:3 (cemento Portland: arena). El ensaye se realizó en una máquina universal con capacidad de 60 ton (Figura 3.6).

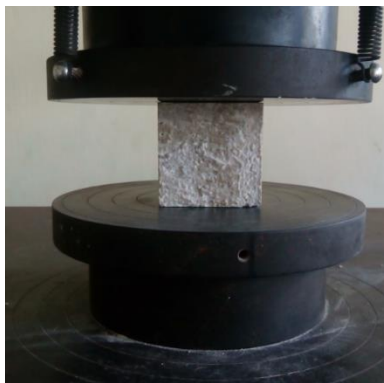


Figura 3.6. Ensaye a compresión de un cubo de mortero hidráulico.

La resistencia a compresión del mortero de pared delgada se determinó con base en la norma ASTM C 109 / C 109M-07. Se utilizaron tres cubos de 5 cm por lado. El ensaye se realizó en una máquina universal con capacidad de 60 ton (Figura 3.7).



Figura 3.7. Ensaye a compresión de un cubo de mortero de pared delgada.

### 3.2. Diseño de muros

Se ensayaron dos muros de mampostería confinada de CCA a escala natural. Se consideró un esfuerzo axial de compresión diferente para cada muro. El diseño de los muros se basó en un proceso iterativo en el cual se determinaron las resistencias por flexión (ecuación 2.5), cortante (ecuación 2.8), flexo-cortante (ecuación 2.13) y deslizamiento (ecuación 2.15). Los muros se denominaron M-2.64-4.8 y M-2.64-7.2. Donde el primer término se refiere al elemento, el segundo a la relación de aspecto y el tercero al esfuerzo axial (Muro- relación de aspecto- esfuerzo axial).

Para el diseño de los muros se utilizaron los siguientes parámetros:

- Altura del muro al punto de aplicación de carga lateral (H) de 240 cm.
- Longitud de muros (L): 91 cm.
- Espesor de muro (t): 15 cm.
- Sección transversal de los castillos de 15 cm x 15 cm (ancho x altura).
- Resistencia a compresión axial nominal del CCA ( $f_{CCA}$ ) de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a tensión del CCA ( $f_{tCCA}$ ) de 4.65 kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a compresión axial de diseño del concreto ( $f'_c$ ) para castillos y cadenas de 175 kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a la fluencia del acero ( $f_y$ ) de refuerzo longitudinal en castillos y cadenas de 4338.25 kg/cm<sup>2</sup>.
- Esfuerzo axial de compresión de 4.80 kg/cm<sup>2</sup> y 7.20 kg/cm<sup>2</sup>. Estos esfuerzos se obtuvieron con base en un análisis de cargas gravitacionales en edificios habitacionales de 3 y 5 niveles construidos con muros y losas de CCA.

En la Figura 3.8 se presenta las curvas resistencia (carga lateral) – esfuerzo axial de compresión obtenidas para los muros. En la Figura 3.8 se representan con unas líneas horizontales los esfuerzos axiales de 4.80 kg/cm<sup>2</sup> y 7.20 kg/cm<sup>2</sup>. Se observa que para ambos esfuerzos se alcanzó primero la falla por flexo-cortante. En la Figura 3.9 se presentan las características geométricas de los muros M-2.64-4.8 y M-2.64-7.2. En el apéndice A se presentan los planos estructurales correspondientes.



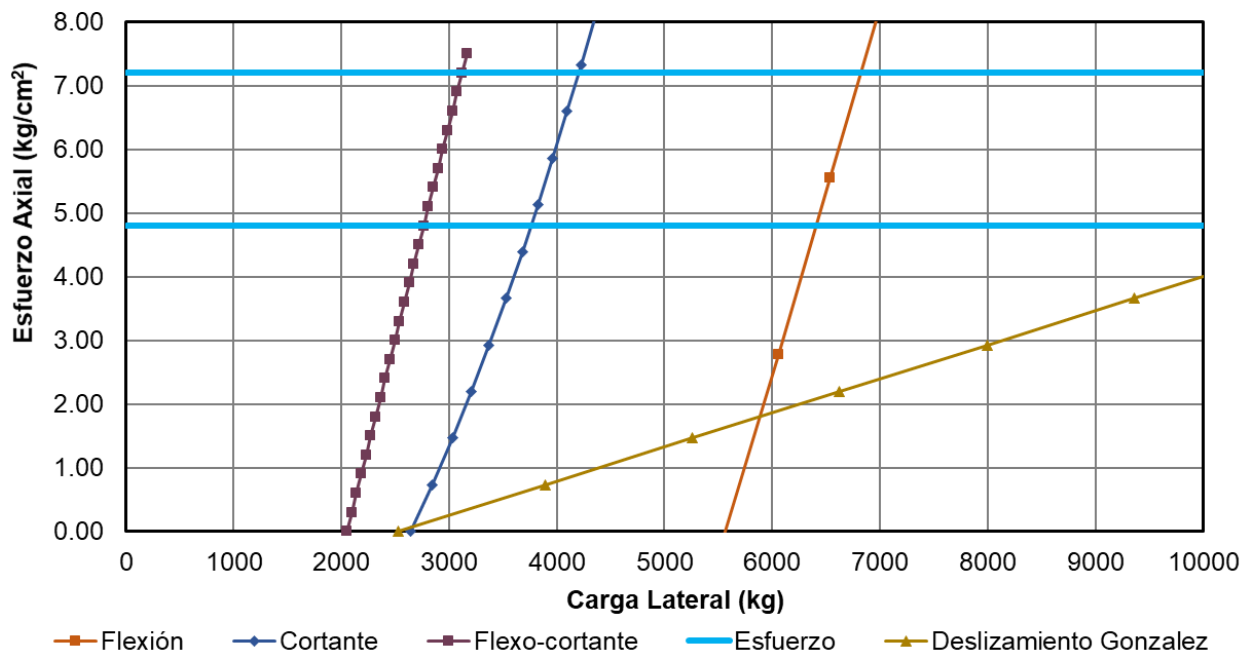


Figura 3.8. Curvas resistencia (carga lateral) – esfuerzo axial de compresión de los muros M-2.64-4.8 y M-2.64-7.2.

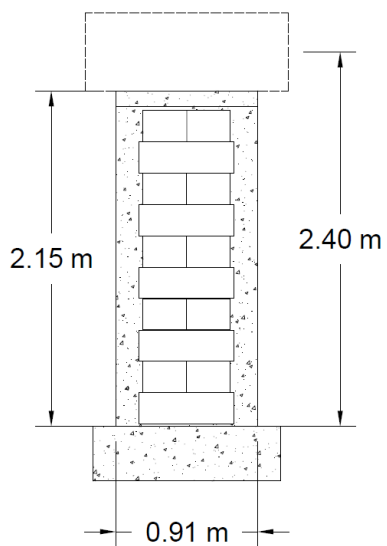
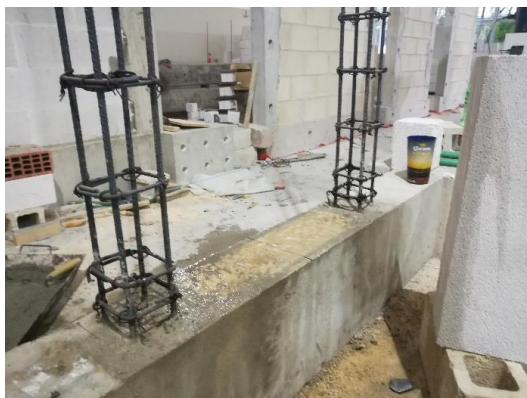


Figura 3.9. Características geométricas de los muros.

### 3.3. Construcción de muros

Los muros fueron construidos a plomo y nivel por un trabajador experimentado. El procedimiento constructivo empleado se describe a continuación:

1. Se rehabilitó la cimentación de concreto reforzado y se habilitó el acero de refuerzo longitudinal para los castillos (Figura 3.10a).
2. Se colocó la primera hilada de bloques de CCA a plomo y nivel. Para la junta horizontal se utilizó mortero hidráulico en proporciones por volumen 1:3 (cemento Portland: arena) (Figura 3.10b). Para las juntas verticales se utilizó mortero de pared delgada. La primera hilada se dejó reposar por 24 horas (Figura 3.10c).
3. Se colocaron las subsecuentes hiladas de bloques de CCA empleando mortero de pared delgada en las juntas horizontales y verticales. La colocación de los bloques se realizó traslapándolos a su longitud media. Se consideró un dentado de 2.5 cm en los extremos de cada hilada.
4. Se habilitó la cimbra y se colocó el concreto de los castillos hasta la altura total del panel (Figura 3.10d). Se dejó el anclaje del acero de refuerzo longitudinal de la cadena.
5. Se habilitó el acero de refuerzo de la cadena y se colocó el concreto (Figura 3.10e).
6. Se almacenaron los muros en el laboratorio por un periodo mínimo de 28 días (Figura 3.10f).



a) Rehabilitación de la cimentación y habilitado del acero de refuerzo de castillos.



b) Colocación de mortero y primera hilada de CCA.



c) Primera hilada reposado por 24 horas.



d) Habilitado de cimbra y colocación de concreto de castillos.



e) Habilitado de acero de cadena superior.



f) Muros almacenados por un período mínimo de 28 días.

Figura 3.10. Construcción de muros de CCA.

### 3.4. Diseño del sistema de carga e instrumentación

El sistema de carga se dividió en dos partes: sistema de carga lateral y sistema de carga axial. El sistema de carga lateral consistió en un marco de carga lateral, actuadores hidráulicos y una viga de repartición de carga (Figura 3.11a). El marco de carga se ancló a la losa de reacción del laboratorio. Se utilizó un actuador hidráulico con una capacidad en tensión de 28 ton y en compresión de 38 ton.

El sistema de carga axial consistió una viga balancín de acero, una viga de repartición de carga axial de acero, dos tensores de acero y un actuador hidráulico (Figura 3.11b). La capacidad del actuador fue de 30 ton. La carga axial se mantuvo constante durante el ensaye mediante un controlador de presión hidráulica. Dicho controlador se conectó a una bomba hidráulica (Figura 3.12).

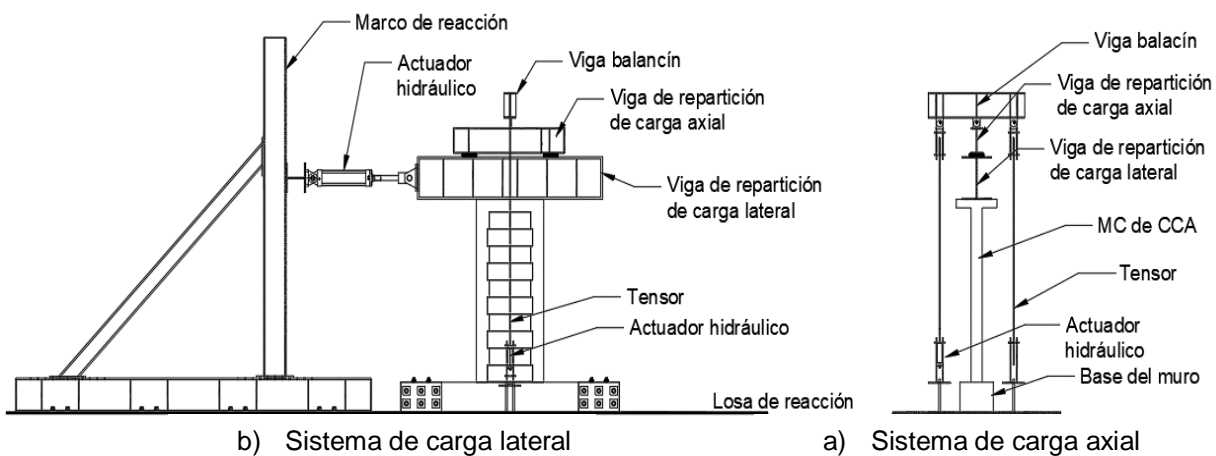


Figura 3.11. Esquema general del sistema de carga.

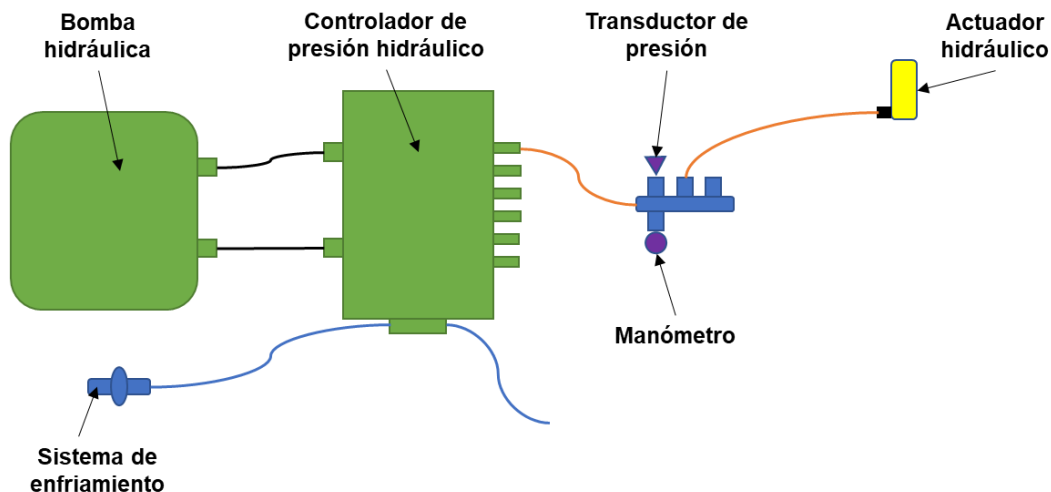


Figura 3.12 Conexión hidráulica del sistema de carga axial.

La instrumentación de los muros consistió en potenciómetros lineales (PL), potenciómetros de polea (PP), transductores de presión (TP), celdas de carga tipo dona (CC) y una celda de pasador (CP). Las mediciones se registraron mediante un sistema de adquisición de datos. En la Figura 3.13 se presenta la distribución de la instrumentación en los muros. En la Tabla 3.1 presenta la descripción de la instrumentación utilizada en los muros.

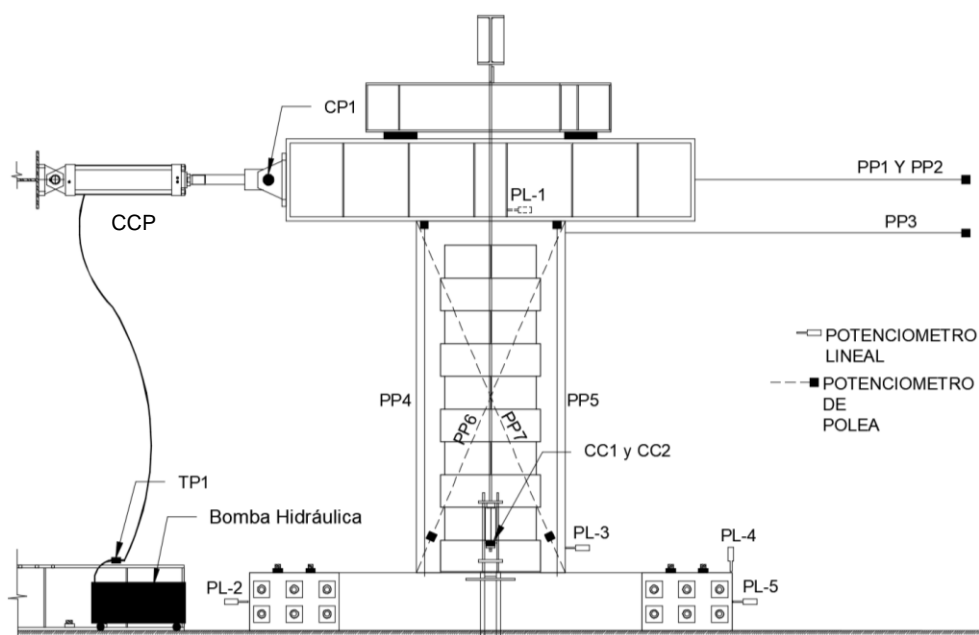


Figura 3.13. Esquema general del sistema de instrumentación.

Tabla 3.1. Descripción de la instrumentación utilizada en los muros

Instrumento	Medición	Ubicación	Capacidad
PL1	Desplazamiento horizontal relativo entre viga de repartición de carga lateral y cadena superior	Posterior superior	2.5 cm
PL2	Desplazamiento vertical relativo entre la cimentación y la losa de reacción	Lateral izquierdo	2.5 cm
PL3	Desplazamiento horizontal relativo entre el castillo y la cimentación	Lateral derecho	2.5 cm
PL4	Desplazamiento vertical relativo entre la cimentación y la losa de reacción	Lateral derecho	2.5 cm
PL5	Desplazamiento horizontal relativo entre la cimentación y la losa de reacción	Lateral derecho	2.5 cm
PP1	Desplazamiento horizontal de la viga de carga lateral	Lateral derecho	12 cm
PP2	Desplazamiento horizontal de la viga de carga lateral	Lateral derecho	38 cm
PP3	Desplazamiento horizontal de la cadena superior	Lateral derecho	38 cm
PP4	Desplazamiento vertical del castillo izquierdo	Frontal	5 cm
PP5	Desplazamiento vertical del castillo derecho	Frontal	5 cm
PP6	Alargamiento y acortamiento de la diagonal	Posterior	5 cm
PP7	Alargamiento y acortamiento de la diagonal	Posterior	5 cm
CC1	Carga de tensión aplicada al tensor delantero	Frontal	22.67 ton
CC2	Carga de tensión aplicada al tensor trasero	Posterior	22.67 ton
CP	Carga lateral aplicada al muro	Lateral izquierdo	40.86 ton
TP1	Presión del actuador hidráulico lateral	Frontal	0.70 ton/cm <sup>2</sup>
TP2	Presión del actuador hidráulico axial	Frontal	0.70 ton/cm <sup>2</sup>

### 3.5. Ensaye de muros

Para el ensayo de los muros se utilizó el protocolo de carga establecido en la NTCM (GCM, 2017). La primera etapa consistió en dos pares de ciclos controlados por carga, correspondientes al 25 y 50 por ciento de la carga de agrietamiento. La segunda etapa consistió en ciclos controlados por distorsión (Figura 3.14).

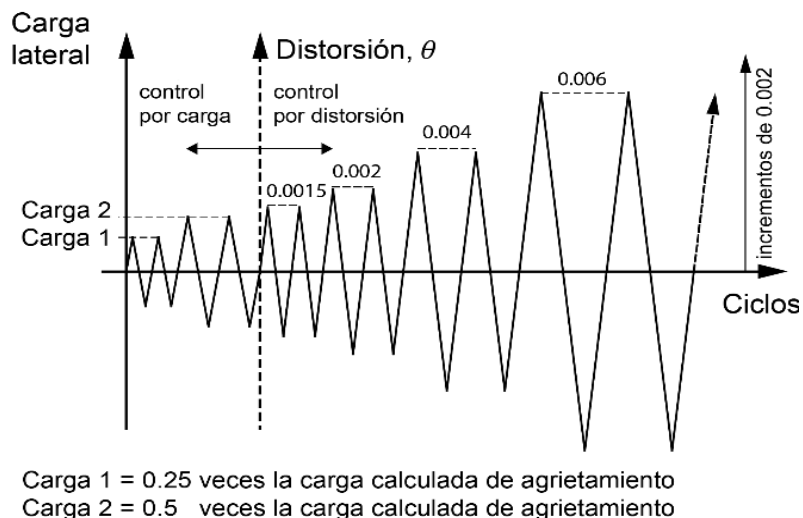


Figura 3.14. Protocolo de cargas.

### 3.5. Evaluación del daño.

Con los resultados obtenidos en los muros en este trabajo y los anteriormente ensayados por Alcocer (2017), Chim (2017), Pinto (2018), Ricalde (2019) y Fernández (2019); la evaluación del daño se definió en términos de la capacidad de deformación y de la degradación de la rigidez. La capacidad de deformación se obtuvo a partir de la normalización de los desplazamientos de cada ciclo con respecto al desplazamiento del primer agrietamiento. La degradación de la rigidez se obtuvo normalizando las rigideces secantes de cada ciclo posterior al primer agrietamiento con respecto a la rigidez del primer agrietamiento. La rigidez secante se obtuvo a partir de los valores de carga y desplazamiento máximos por cada ciclo.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las propiedades de los materiales y del ensaye de los muros confinados de CCA.

### 4.1. Propiedades de los materiales

En la Tabla 4.1 se presenta el contenido de humedad de los cubos de CCA. La humedad promedio fue de 8.34% con un coeficiente de variación (CV) de 0.11. El promedio de la humedad se encontró entre el 5 y 15% especificado en la ASTM C1693-11.

Tabla 4.1. Contenido de Humedad del CCA.

<b>Espécimen</b>	<b>% Humedad</b>
C1	8.18%
C2	7.69%
C3	7.18%
C4	9.88%
C5	9.32%
C6	7.77%
C7	8.47%
C8	8.33%
C9	9.48%
<b>Promedio</b>	<b>8.34%</b>
<b>CV</b>	0.11

En la Tabla 4.2 se presenta la resistencia a compresión axial del CCA ( $f_{CCA}$ ). La resistencia promedio fue de 53.88 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 0.04. En la Figura 4.1 se presentan las fallas observadas en los cubos de CCA.



Tabla 4.2. Resistencia a compresión axial del CCA.

Espécimen	$f_{CCA}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
C1	57.99
C2	54.03
C3	54.66
C4	53.01
C5	52.97
C6	52.71
C7	53.56
C8	50.93
C9	55.02
<b>Promedio</b>	<b>53.88</b>
<b>CV</b>	0.04

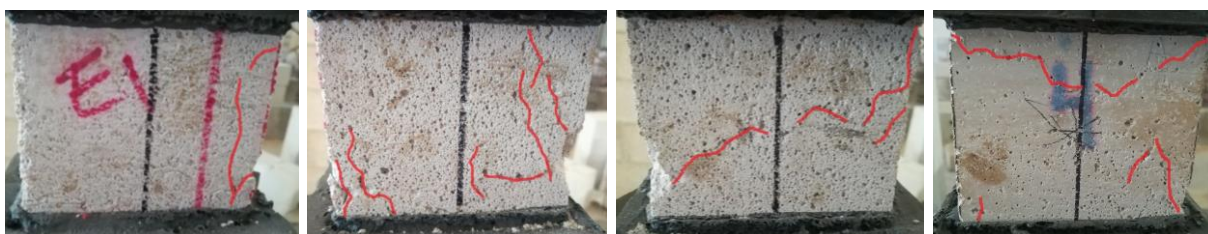


Figura 4.1. Fallas observadas en los cubos de CCA.

En la Tabla 4.3 se presenta la resistencia a tensión del CCA ( $f_{tCCA}$ ). La resistencia a tensión promedio fue de 4.65 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 0.07. En la Figura 4.2 se presenta la falla observada en los bloques de CCA.

Tabla 4.3. Resistencia a tensión del CCA.

Espécimen	$f_{tCCA}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
T2B1	4.95
T2B2	4.40
T3B1	4.26
T3B2	4.79
T1B1	5.03
T4B1	4.47
<b>Promedio</b>	<b>4.65</b>
<b>CV</b>	0.07



Figura 4.2. Falla observada en los bloques de CCA.

En la Tabla 4.4 se presenta la resistencia a compresión axial del concreto ( $f'_c$ ) de los castillos de los muros M2.63-4.80 y M2.63-7.20. Las resistencias promedio fueron de  $165.42 \text{ kg/cm}^2$  y  $159.97 \text{ kg/cm}^2$ , respectivamente. El CV fue de 0.05 y 0.09, respectivamente.

Tabla 4.4. Resistencia a compresión axial de los cilindros de concreto.

Especimen	$f'_c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	
	M2.63-4.80	M2.63-7.20
C1	167.95	171.97
C2	172.02	143.66
C3	156.29	164.28
<b>Promedio</b>	<b>165.42</b>	<b>159.97</b>
<b>CV</b>	0.05	0.09

En la Tabla 4.5 se presenta la resistencia a tensión por flexión del concreto. La resistencia promedio fue de  $27.52 \text{ kg/cm}^2$  con un CV de 0.04. En la Figura 4.3 se presenta la falla observada en las vigas de concreto.

Tabla 4.5. Resistencia a tensión por flexión del concreto.

<b>Espécimen</b>	<b><math>f_r</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
P1	29.05
P2	27.57
P3	25.90
P4	26.64
P5	27.70
P6	28.25
<b>Promedio</b>	<b>27.53</b>
<b>CV</b>	0.03



Figura 4.3. Falla observada en las vigas de concreto.

En la Tabla 4.6 se presenta la resistencia a la fluencia del acero de refuerzo. La resistencia promedio fue de 4338.25 kg/cm<sup>2</sup> y un CV de 0.015.

Tabla 4.6. Resistencia a la fluencia del acero refuerzo.

<b>Espécimen</b>	<b><math>f_y</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
R1	4292.69
R2	4383.81
<b>Promedio</b>	<b>4338.25</b>
<b>CV</b>	0.015

En la Tabla 4.7 se presenta la resistencia a compresión del mortero hidráulico. La resistencia promedio fue de 227.98 kg/cm<sup>2</sup> con un CV de 0.003.

Tabla 4.7. Resistencia a compresión del mortero hidráulico.

<b>Espécimen</b>	<b>f<sub>j</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
TM1	227.461
TM2	227.746
TM3	228.739
<b>Promedio</b>	<b>227.98</b>
<b>CV</b>	<b>0.003</b>

En la Tabla 4.8 se presenta la resistencia a compresión del mortero de pared delgada. La resistencia promedio fue de 181.62 kg/cm<sup>2</sup> con un CV de 0.025.

Tabla 4.8. Resistencia a compresión del mortero de pared delgada.

<b>Espécimen</b>	<b>f<sub>JCCA</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
M1	176.488
M2	183.641
M3	184.723
<b>Promedio</b>	<b>181.62</b>
<b>CV</b>	<b>0.025</b>

## 4.2. Ensaye de los muros.

En el ensaye del muro M-2.64-4.8 se aplicaron 23 ciclos de carga lateral. Los primeros cuatro estuvieron controlados por carga y los subsecuentes por distorsión. En la Figura 4.4, Figura 4.5 y Figura 4.6 se presentan la historia de la carga lateral, la distorsión y la carga axial con los ciclos, respectivamente. El primer ciclo se denomina 1A, el segundo 1B, el tercero 2A, el cuarto 2B y así sucesivamente. Cada ciclo consistió en una parte positiva y una negativa. Para la parte positiva los agrietamientos se marcaron de color negro y para la negativa de color rojo. La carga axial inicial aplicada al muro fue de 7.43 ton. Esta carga incluye la aplicada con el actuador hidráulico y el peso propio del sistema de carga. En la Figura 4.6 se observa que la máxima variación de la carga axial fue aproximadamente del 8%.

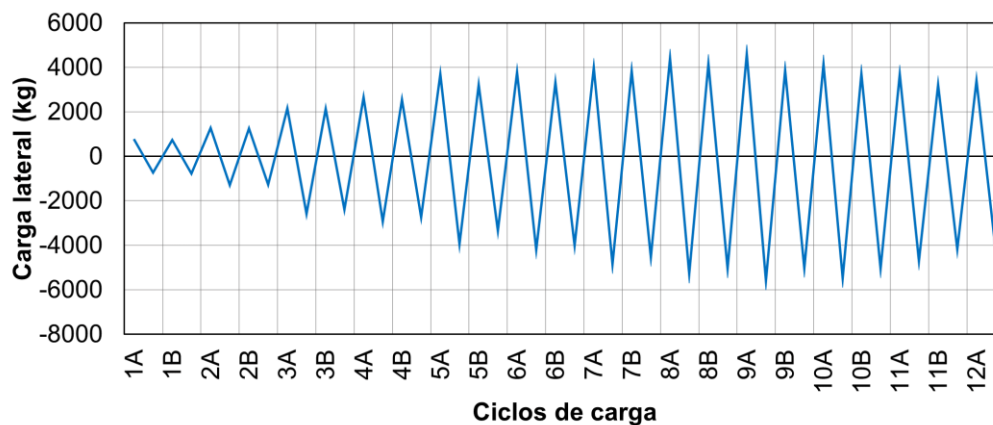


Figura 4.4. Historia de carga lateral del muro M-2.64-4.8.

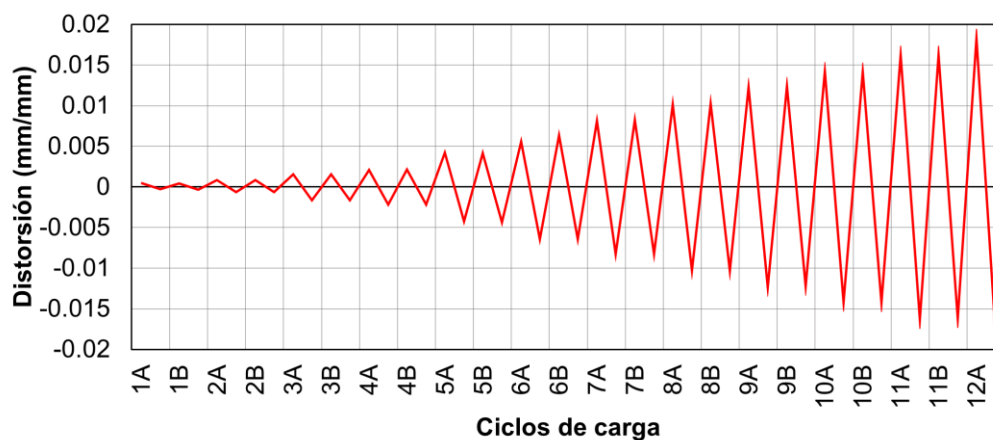


Figura 4.5. Historia de distorsión del muro M-2.64-4.8.

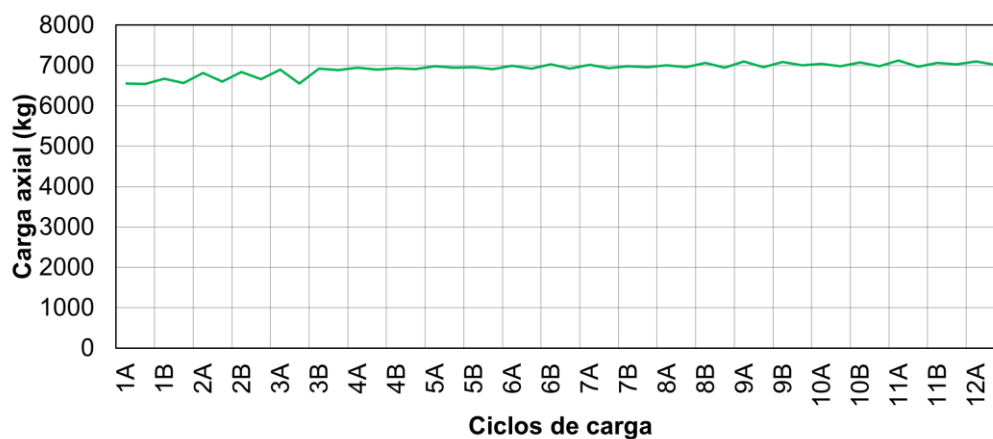


Figura 4.6. Historia de la carga axial del muro M-2.64-4.8.

El comportamiento del muro se caracterizó en los primeros ciclos por la formación de grietas horizontales en los extremos medios inferiores de los castillos. En el ciclo 5A positivo se observó la formación de una grieta por flexo-cortante (Figura 4.7). En el ciclo 5A negativo se observaron otras grietas por flexo-cortante junto con una grieta diagonal por cortante (Figura 4.8). Posteriormente, se observaron nuevas grietas diagonales hasta alcanzar la carga máxima en el ciclo 9A negativo (Figura 4.9). Al aumentar la distorsión se observó la degradación de la resistencia del muro. El ensaye se detuvo debido a que se alcanzó una degradación mayor al 20%. El patrón de agrietamiento final se presenta en la Figura 4.10. En la Tabla 4.9 se presenta un resumen de los principales eventos observados durante el ensaye del muro. En esta tabla se incluye para cada evento el número de ciclo, la carga lateral, el desplazamiento y la distorsión. En la Figura 4.11 se presenta la curva carga lateral – desplazamiento lateral del muro. Adicionalmente, se indican con marcadores la carga por flexo-cortante ( $V_{fc}$ ), la carga por cortante ( $V_c$ ), la carga máxima ( $V_{max}$ ) y la carga última experimental ( $V_u$ ).

Tabla 4.9. Resumen de eventos principales del muro ensayado.

Evento	Ciclo	Sentido	Carga lateral (kg)	Desplazamiento (mm)	Distorsión	Figuras
Flexo-cortante	5A	Positivo	3513	8.31	0.0035	4.7
		Negativo	3619	7.52	0.0031	
Cortante	6A	Positivo	3780	13.30	0.0055	4.8
	5A	Negativo	3809	10.56	0.0044	
Carga Máxima	9A	Positivo	4596	29.45	0.0123	4.9
		Negativo	5577	29.68	0.0124	
Carga última experimental	12A	Positivo	3421	43.85	0.0183	4.10
		Negativo	4213	43.96	0.0183	

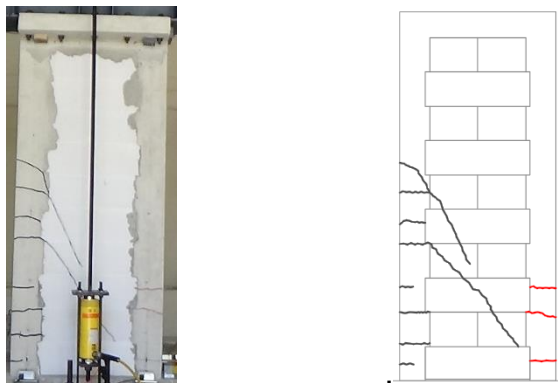


Figura 4.7. Patrón de agrietamiento observado a la carga por flexo-cortante.

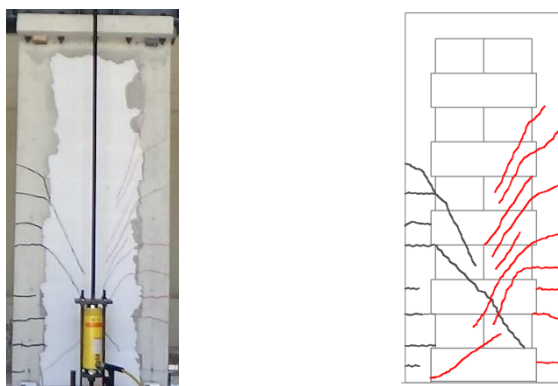


Figura 4.8. Patrón de agrietamiento observado a la carga por cortante.

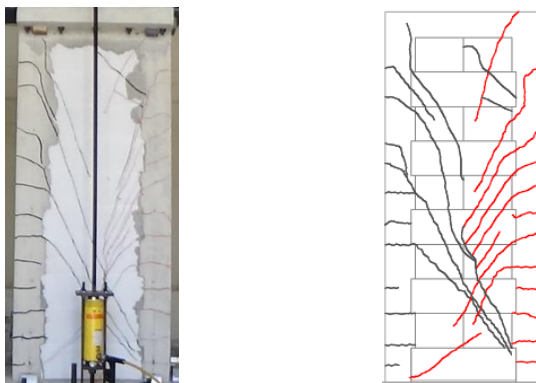


Figura 4.9. Patrón de agrietamiento observado a la carga máxima.

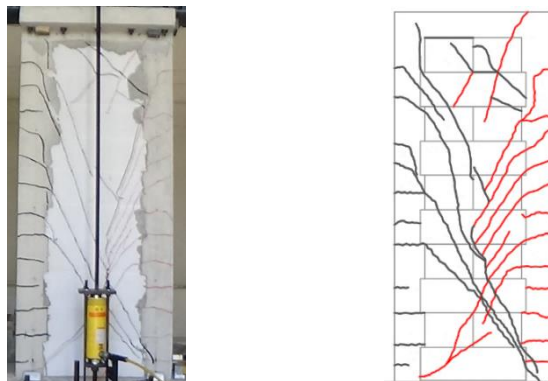


Figura 4.10. Patrón de agrietamiento observado a la carga última experimental.

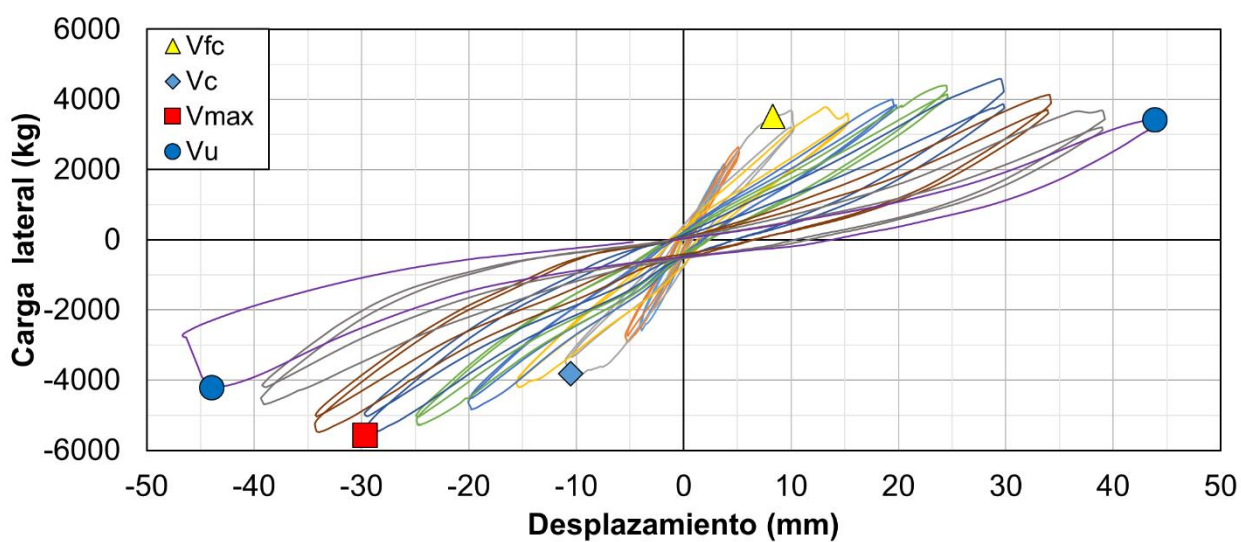


Figura 4.11. Curva carga lateral – desplazamiento del muro M-2.64-4.8.

En el ensaye del muro M-2.64-7.2 se aplicaron 23 ciclos de carga lateral. Los primeros cuatro estuvieron controlados por carga y los subsecuentes por distorsión. En la Figura 4.12, Figura 4.13 y Figura 4.14 se presentan la historia de la carga lateral, la distorsión y la carga axial con los ciclos, respectivamente. La carga axial inicial aplicada al muro fue de 10.66 ton. Esta carga incluye la aplicada con el actuador hidráulico y el peso propio del sistema de carga. En la Figura 4.14 se observa que la máxima variación de la carga axial fue aproximadamente del 7%.



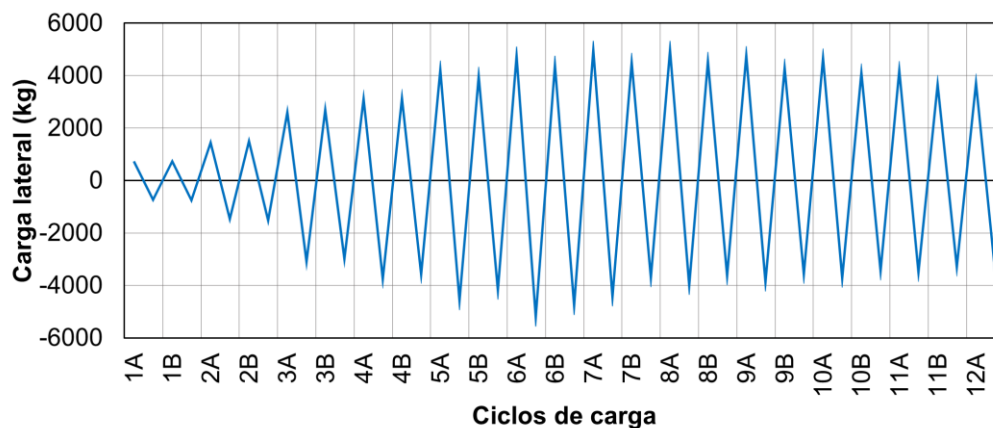


Figura 4.12. Historia de carga lateral del muro M-2.64-7.2

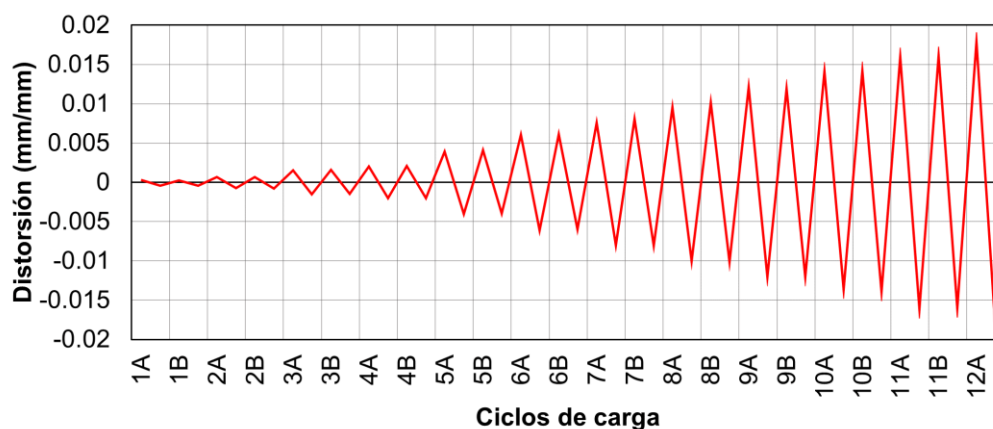


Figura 4.13. Historia de distorsión del muro M-2.64-7.2

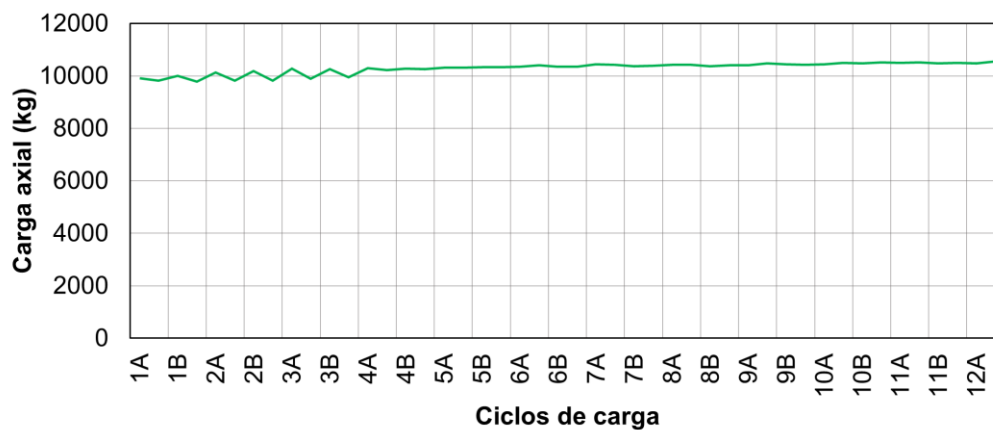


Figura 4.14. Historia de la carga axial del muro M-2.64-7.2.

El comportamiento del muro se caracterizó en los primeros ciclos por la formación de grietas horizontales en los extremos medios inferiores de los castillos. En el ciclo 5A positivo se observó la formación de una grieta por flexo-cortante junto con la grieta diagonal de cortante (Figura 4.7). En el ciclo 5A negativo se observaron otras grietas por flexo-cortante y cortante. Posteriormente, se observaron nuevas grietas diagonales hasta alcanzar la carga máxima en el ciclo 6A negativo (Figura 4.9). Al aumentar la distorsión se observó la degradación de la resistencia del muro. El ensaye se detuvo debido a que se alcanzó una degradación mayor al 20%. El patrón de agrietamiento final se presenta en la Figura 4.17. En la Tabla 4.10 se presenta un resumen de los principales eventos observados durante el ensaye del muro. En la Figura 4.18 se presenta la curva carga lateral – desplazamiento lateral del muro.

Tabla 4.10. Resumen de eventos principales del muro ensayado.

Evento	Ciclo	Sentido	Carga lateral (kg)	Desplazamiento lateral (mm)	Distorsión	Figuras
Flexo-cortante	5A	Positivo	4130.84	8.38	0.0035	4.15
		Negativo	4287.26	6.19	0.0026	
Cortante	5A	Positivo	4180.09	9.37	0.0039	
		Negativo	4504.17	8.75	0.0036	
Carga Máxima	7A	Positivo	4970.51	18.17	0.0076	4.16
	6A	Negativo	5201.98	14.63	0.0061	
Carga última experimental	12A	Positivo	3720.10	42.88	0.0179	4.17
		Negativo	3505.37	43.58	0.0182	

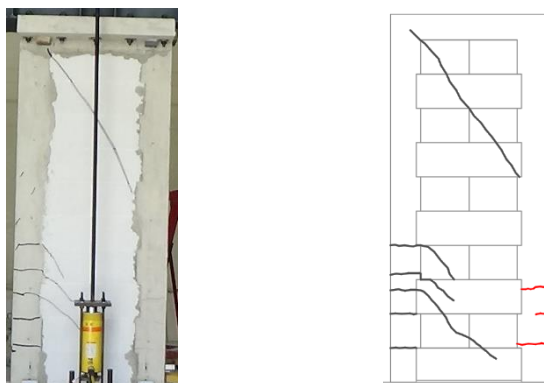


Figura 4.15. Patrón de agrietamiento observado a la carga por flexo-cortante y cortante.

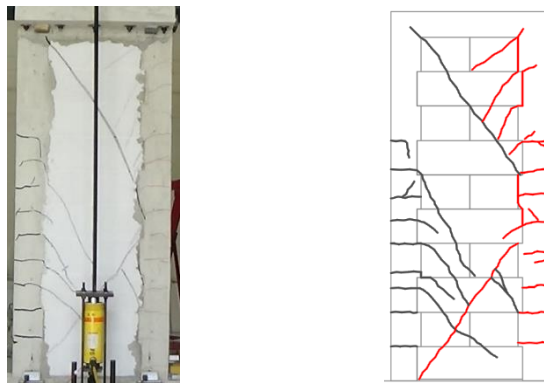


Figura 4.16. Patrón de agrietamiento observado a la carga máxima.

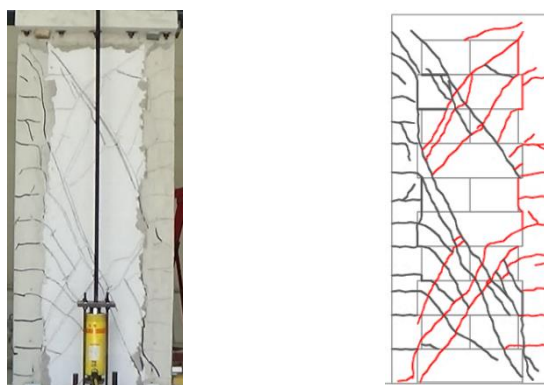


Figura 4.17. Patrón de agrietamiento observado a la carga última experimental.

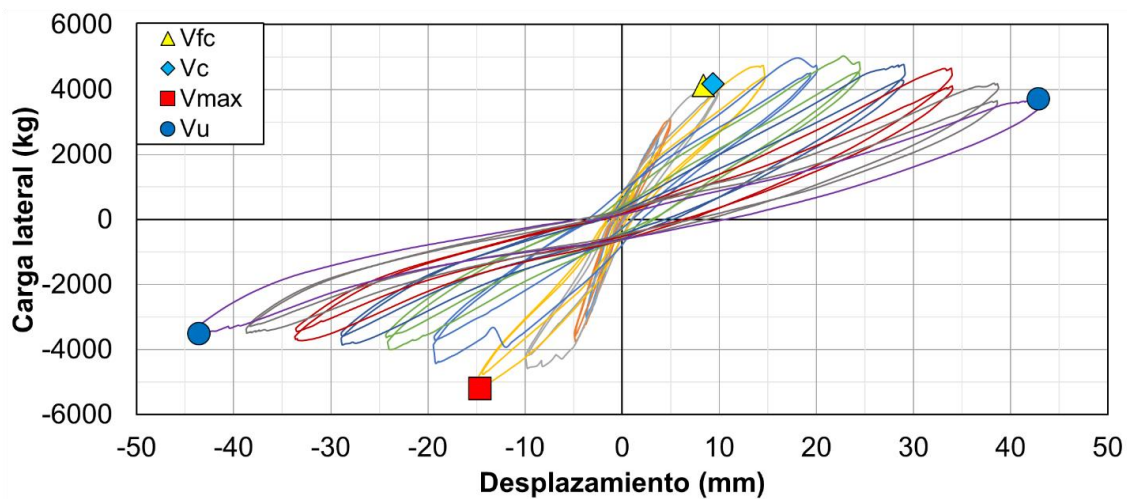


Figura 4.18. Curva carga lateral – desplazamiento del muro M-2.64-7.2.

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Se presenta una discusión de los resultados obtenidos en este trabajo y de once muros reportados en la literatura (Chim 2017, Alcocer 2017, Pinto 2018, Fernández 2019, Ricalde 2019). Se consideraron muros con diferentes relaciones de aspecto, esfuerzo axial y resistencia a compresión del CCA. El comportamiento de los muros se discute en términos del patrón de agrietamiento, la resistencia a la carga lateral, la capacidad de deformación, la degradación de resistencia, la degradación de rigidez, la cantidad de energía disipada acumulada y el nivel de daño. En la Tabla 5.1. se presentan las características generales de los muros considerados para esta discusión. En la tabla Tabla 5.2 se presenta la carga lateral asociada al primer agrietamiento ( $V_{agr}$ ) y el correspondiente desplazamiento ( $\Delta_{agr}$ ). En la Tabla 5.3 se presenta la carga máxima ( $V_{max}$ ) con su correspondiente desplazamiento ( $\Delta_{Vmax}$ ) y la carga última ( $V_u$ ) con su correspondiente desplazamiento ( $\Delta_u$ ). La carga última se definió a una pérdida de resistencia del 20% de la carga máxima. Para los muros M-0.52-3.0-44, M-0.71-53-44, M-1.30-53-44 y M-0.71-3.0-53 se limitó a una pérdida de carga del 16%, 14%, 4% y 10% de la carga máxima, respectivamente. Esto se debió en general, a la propagación de las grietas diagonales en el extremo superior e inferior de los castillos. En las tablas descritas se presenta la nomenclatura utilizada en los muros, que fue muro- relación de aspecto- esfuerzo axial-resistencia a compresión del CCA. Como observación, en las Tabla 5.2 y Tabla 5.3 las celdas sombreadas indican que la carga lateral ( $V_{agr}$  o  $V_{max}$ ) se presentaron en el sentido negativo de la carga lateral.

Tabla 5.1. Características generales de los muros.

Muro	H (cm)	L (cm)	H/L	P (kg)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>CCA</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Referencia
M-0.53-3.0-44	240	456	0.53	20657	3.02	44.13	Pinto (2018)
M-0.71-3.0-44	240	336	0.71	16632	3.30	44.13	Alcocer (2017)
M-0.71-3.0-53	240	336	0.71	15920	3.16	53.88	Ricalde (2019)
M-1.23-3.0-53	240	195	1.23	9653	3.30	53.88	Ricalde (2019)
M-1.23-4.8-53	240	195	1.23	14808	5.06	53.88	Fernández (2019)
M-1.23-7.2-53	240	195	1.23	22218	7.60	53.88	Fernández (2019)
M-1.30-3.0-44	240	185	1.30	9158	3.30	44.13	Alcocer (2017)
M-1.94-3.0-44	240	124	1.94	6230	3.35	44.13	Chim (2017)
M-1.94-3.0-53	240	124	1.94	6427	3.46	53.88	Ricalde (2019)
M-2.64-3.0-44	240	91	2.64	5105	3.74	44.13	Chim (2017)
M-2.64-3.0-53	240	91	2.64	4879	3.57	53.88	Ricalde (2019)
M-2.64-4.8-53	240	91	2.64	7431	5.44	53.88	Naal (2019)
M-2.64-7.2-53	240	91	2.64	10667	7.81	53.88	Naal (2019)

Tabla 5.2. Primer agrietamiento en muros de CCA.

Muro	Primer agrietamiento		
	V <sub>agr</sub> (kg)	$\Delta_{agr}$ (mm)	Tipo
M-0.53-3.0-44	23936	2.15	Cortante
M-0.71-3.0-44	18869	2.41	Cortante
M-0.71-3.0-53	17514	7.06	Cortante
M-1.23-3.0-53	10339	3.40	Cortante
M-1.23-4.8-53	9917	2.37	Cortante
M-1.23-7.2-53	8736	2.10	Cortante
M-1.30-3.0-44	8836	4.12	Flexo-cortante
M-1.94-3.0-44	5178	4.65	Flexo-cortante
M-1.94-3.0-53	4633	3.60	Flexo-cortante
M-2.64-3.0-44	3480	6.55	Flexo-cortante
M-2.64-3.0-53	3623	8.61	Flexo-cortante
M-2.64-4.8-53	3513	8.31	Flexo-cortante
M-2.64-7.2-53	4131	8.38	Flexo-cortante

Tabla 5.3. Carga máxima y carga última en muros de CCA

Muro	Carga máxima		Carga última	
	$V_{max}$ (kg)	$\Delta_{max}$ (mm)	$V_u$ (kg)	$\Delta_u$ (mm)
M-0.53-3.0-44	30460	20.12	24366	34.03
M-0.71-3.0-44	23621	12.39	23621	12.39
M-0.71-3.0-53	22059	16.20	21143	34.30
M-1.23-3.0-53	14328	18.17	11462	29.33
M-1.23-4.8-53	16585	19.06	13268	31.43
M-1.23-7.2-53	17320	17.46	13434	37.43
M-1.30-3.0-44	12685	14.44	9621	21.27
M-1.94-3.0-44	7416	14.25	5546	26.10
M-1.94-3.0-53	7600	24.37	5894	45.25
M-2.64-3.0-44	4672	17.82	3842	38.31
M-2.64-3.0-53	4902	28.98	3390	34.61
M-2.64-4.8-53	5577	29.68	4462	41.41
M-2.64-7.2-53	5202	14.63	4162	22.16

### 5.1. Patrón de agrietamiento.

Con base en los resultados experimentales se encontró que los primeros agrietamientos de los muros estuvieron asociados con grietas por cortante o por flexo-cortante (Tabla 5.2). El agrietamiento por cortante se caracterizó, en general, por la aparición de una grieta diagonal que inicia en la esquina superior del castillo y que atraviesa el panel de mampostería. Dicha grieta finaliza en la esquina inferior del siguiente castillo. Por su parte, el agrietamiento por flexo-cortante se caracterizó, en general, por la aparición simultánea de una grieta horizontal asociada a flexión en el castillo y una grieta diagonal asociada a cortante. Dicha grieta inicia de la grieta horizontal, que atraviesa el panel de mampostería y termina en la cimentación. En general, se observó que en muros con relación de aspecto menor a 1.30 se presentó el agrietamiento por cortante. Posteriormente, en los muros M-1.23-3.0-53 y M-1.23-4.8-53, se presentó el agrietamiento por flexo-cortante. Por otro lado, en muros con relación de aspecto mayor a 1.30 se presentó el agrietamiento por flexo-cortante. Posteriormente, en todos los casos, se presentó el agrietamiento diagonal por cortante. Al incrementarse los desplazamientos, se presentó la formación de más grietas. Debido a la aplicación de cargas en ciclos reversibles, se presentaron

agrietamientos en ambos sentidos. Finalmente, las grietas se propagaron hacia los castillos formando un patrón de agrietamiento en forma de "X" (Figura 5.1).

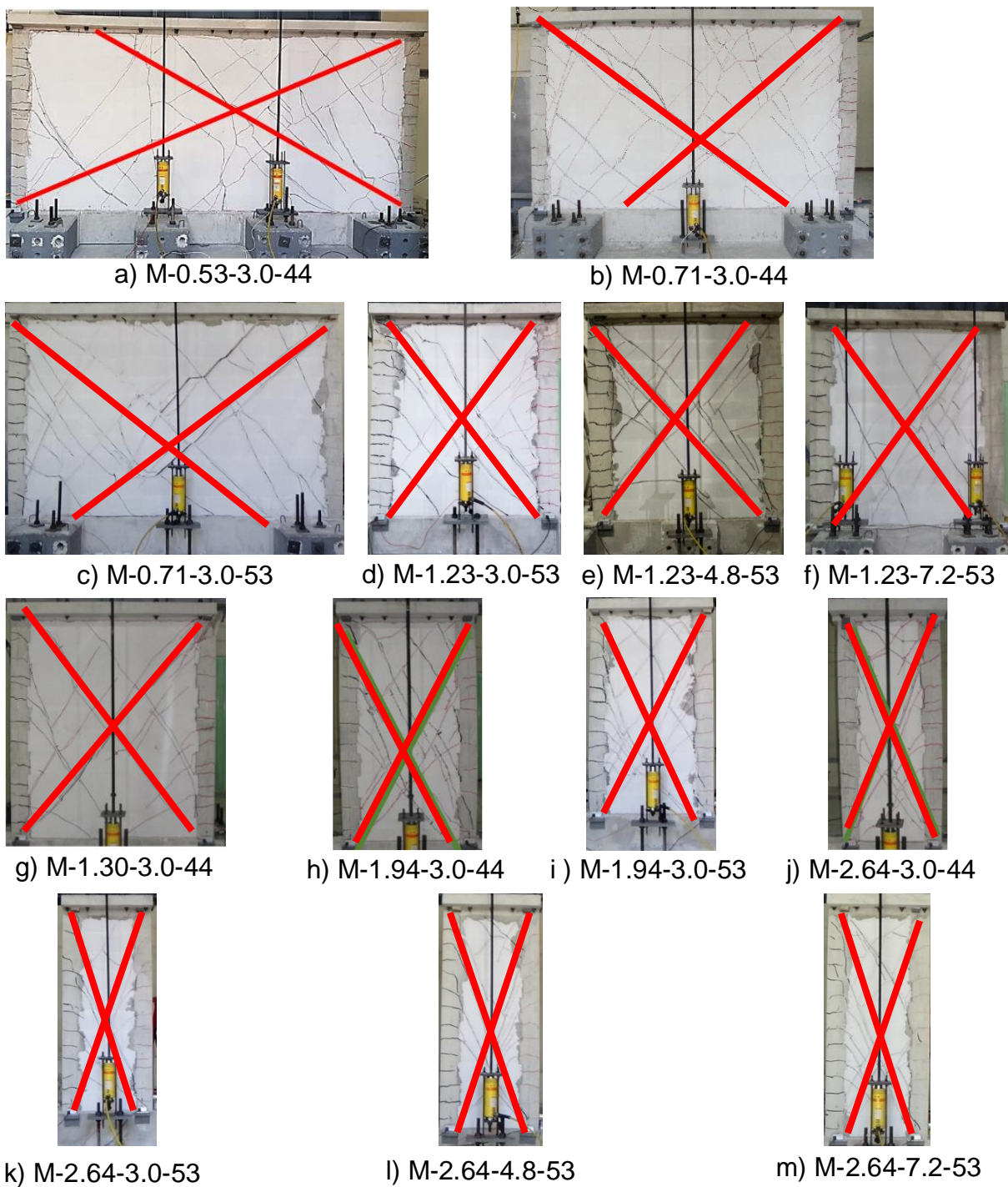


Figura 5.1. Patrón de agrietamiento final de los muros.

## 5.2. Resistencia.

En la Figura 5.2 se presenta las envolventes de las curvas carga lateral – desplazamiento para los muros con relación de aspecto de 1.23 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>. Los marcadores en forma de rombo de color azul indican la resistencia al primer agrietamiento por cortante ( $V_c$ ) y los cuadrados de color rojo indican la resistencia máxima ( $V_{max}$ ). Las envolventes fueron limitadas al 80% de la resistencia máxima. En la Tabla 5.4 se presenta la resistencia de los muros con relación de aspecto de 1.23 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>. Se presenta la resistencia al primer agrietamiento por cortante ( $V_{agr}$ ), la resistencia máxima ( $V_{max}$ ) y la resistencia última ( $V_u$ ). En la misma tabla se presenta las resistencias normalizadas respecto a la resistencia al primer agrietamiento de los muros con relación de aspecto de 1.23 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

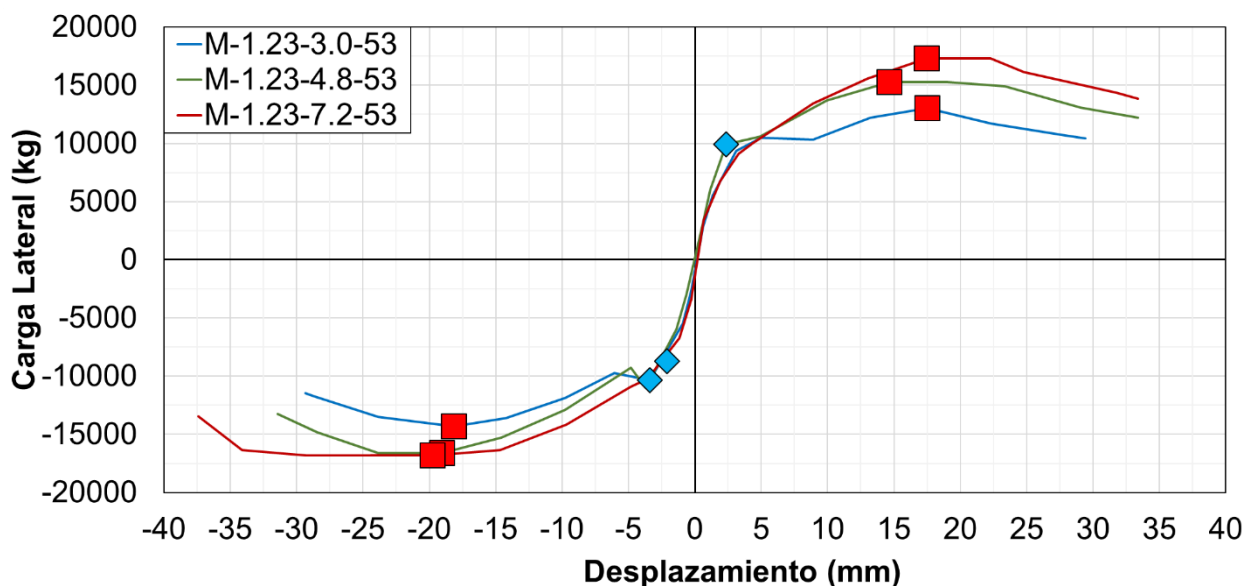


Figura 5.2. Envolvente de los muros con  $H/L= 1.23$  y  $f_{CCA}= 53.88$  kg/cm<sup>2</sup>.



Tabla 5.4. Resistencia de los muros con  $H/L= 1.23$  y  $f_{CCA}= 53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

<b>Evento / Muro</b>	<b>M-1.23-3.0-53</b>	<b>M-1.23-4.8-53</b>	<b>M-1.23-7.2-53</b>
<b><math>V_{agr}</math> (kg)</b>	10339	9917	8736
<b><math>V_{max}</math> (kg)</b>	13010	15275	17320
<b><math>V_u</math> (kg)</b>	10408	12220	13856
<b><math>V_{agr}/V_{agr}</math></b>	1.00	1.00	1.00
<b><math>V_{max}/V_{agr}</math></b>	1.26	1.54	1.98
<b><math>V_u/V_{agr}</math></b>	1.01	1.23	1.59

Con base en la Figura 5.2 se observó que el primer agrietamiento de los tres muros estuvo asociado a una falla por cortante. La aparición del primer agrietamiento en el muro M-1.23-4.8-53 se observó en el sentido positivo. Mientras que el primer agrietamiento en los muros M-1.23-3.0-53 y M-1.23-7.2-53 se observó en el sentido negativo. Con base en la Tabla 5.4, se observó que la resistencia al primer agrietamiento de los muros M-1.23-3.0-53 y M-1.23-4.8-53 fueron similares. Mientras que la resistencia al primer agrietamiento del muro M-1.23-7.2-53 fue 12% menor que la resistencia al primer agrietamiento del muro M-1.23-4.8-53. Esto se debió a que conforme el esfuerzo axial del muro se incrementa, la relación entre el esfuerzo axial y la resistencia a compresión del CCA también se incrementa. Por lo que, la fuerza lateral necesaria para inducir el primer agrietamiento fue menor. Por otro lado, se observó que la resistencia máxima aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba. En la Tabla 5.4 se observó que la relación  $V_{max}/V_{agr}$  aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba. Dicho incremento fue entre el 26% y el 98% con respecto a la resistencia al primer agrietamiento de cada muro.

En la Figura 5.3 se presentan las envolventes de las curvas carga lateral – desplazamiento para los muros con relación de aspecto de 2.64 y  $f_{CCA}$  de 53.88  $\text{kg/cm}^2$ . Los marcadores triangulares de color amarillo indican la resistencia al primer agrietamiento por flexo-cortante ( $V_{fc}$ ) y los cuadrados de color rojo indican la resistencia máxima. Las envolventes fueron limitadas al 80% de la resistencia máxima. En la Tabla 5.5 se presenta la resistencia de los muros con relación de aspecto de 2.64 y  $f_{CCA}$  de 53.88  $\text{kg/cm}^2$ . Se presenta la resistencia al primer

agrietamiento por flexo-cortante, la resistencia máxima y la resistencia última. En la misma tabla se presenta las resistencias normalizadas respecto a la resistencia del primer agrietamiento de los muros con relación de aspecto de 2.64 y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

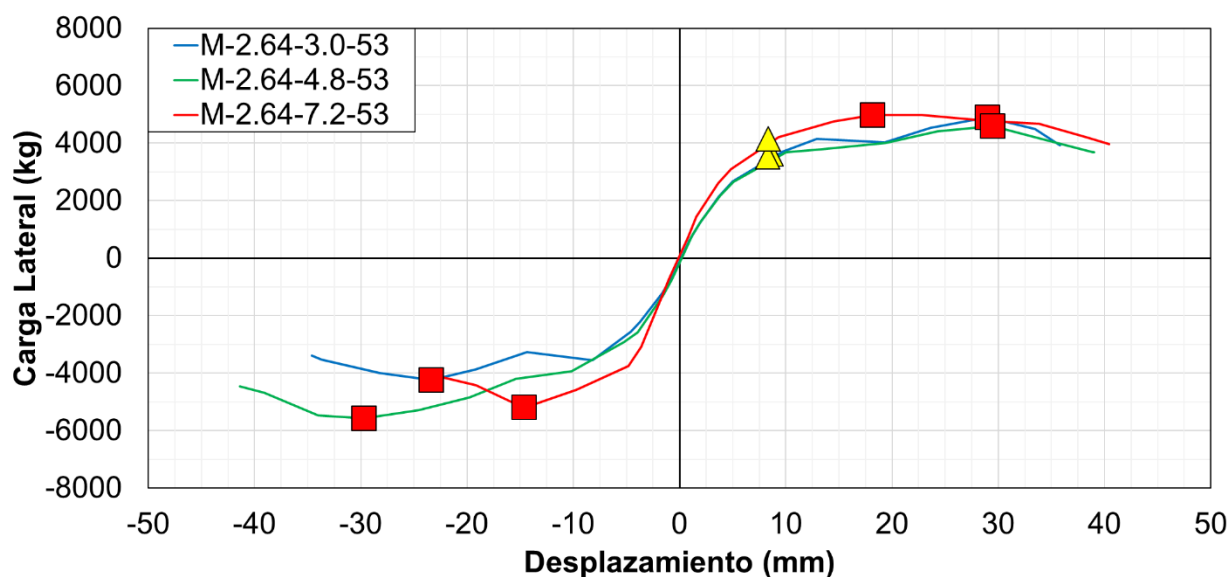


Figura 5.3. Envoltura de los muros con  $H/L = 2.64$  y  $f_{CCA} = 53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

Tabla 5.5. Resistencia de los muros con  $H/L = 2.64$  y  $f_{CCA} = 53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

Evento / Muro	M-2.64-3.0-53	M-2.64-4.8-53	M-2.64-7.2-53
$V_{agr}$ (kg)	3623	3513	4131
$V_{max}$ (kg)	4902	4596	4971
$V_u$ (kg)	3922	3676	3976
$V_{agr}/V_{agr}$	1.00	1.00	1.00
$V_{max}/V_{agr}$	1.35	1.31	1.20
$V_u/V_{agr}$	1.08	1.05	0.96

Con base en la Figura 5.3 se observó que el primer agrietamiento de los tres muros estuvo asociado a una falla por flexo-cortante. La aparición del primer agrietamiento de los tres muros se observó en el sentido positivo. Con base en la Tabla 5.5, se observó que la resistencia al primer agrietamiento de los muros M-2.64-3.0-53 y M-2.64-4.80-53 fue similar. Mientras que la resistencia al primer agrietamiento del

muro M-2.64-7.2-53 fue 18% mayor que la resistencia al primer agrietamiento del muro M-2.64-4.8-53. Por lo que, conforme el esfuerzo axial aumenta, en general, la resistencia al primer agrietamiento incrementa. Esto se debió a que el primer agrietamiento estuvo asociado a una falla por tensión en el CCA en la dirección de los esfuerzos principales. Dichos esfuerzos principales son producidos por la combinación de las componentes del esfuerzo normal y del esfuerzo por cortante. Por lo que conforme el esfuerzo normal aumenta, la resistencia al primer agrietamiento incrementa. Por otro lado, la resistencia máxima de los muros fue similar. En la Tabla 5.5 se observó que la relación  $V_{max}/V_{agr}$  disminuyó conforme el esfuerzo axial aumentaba. Dicha disminución fue entre el 35% y el 20% con respecto a la resistencia al primer agrietamiento de cada muro.

En la Figura 5.4 se presentan las envolventes de las curvas carga lateral-desplazamiento para los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ . Los marcadores en forma de rombo de color azul indican la resistencia al primer agrietamiento por cortante, los triangulares de color amarillo indican la resistencia al primer agrietamiento por flexo-cortante y los cuadrados de color rojo indican la resistencia máxima. Las envolventes fueron limitadas al 80% de la resistencia máxima, a excepción del muro M-0.71-3.0-53 que fue limitado al 90% de la resistencia máxima. En la Tabla 5.6 se presenta la resistencia de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ . Se presenta la resistencia al primer agrietamiento por cortante o flexo-cortante, la resistencia máxima y la resistencia última. En la misma tabla se presenta las resistencias normalizadas respecto a la resistencia del primer agrietamiento de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

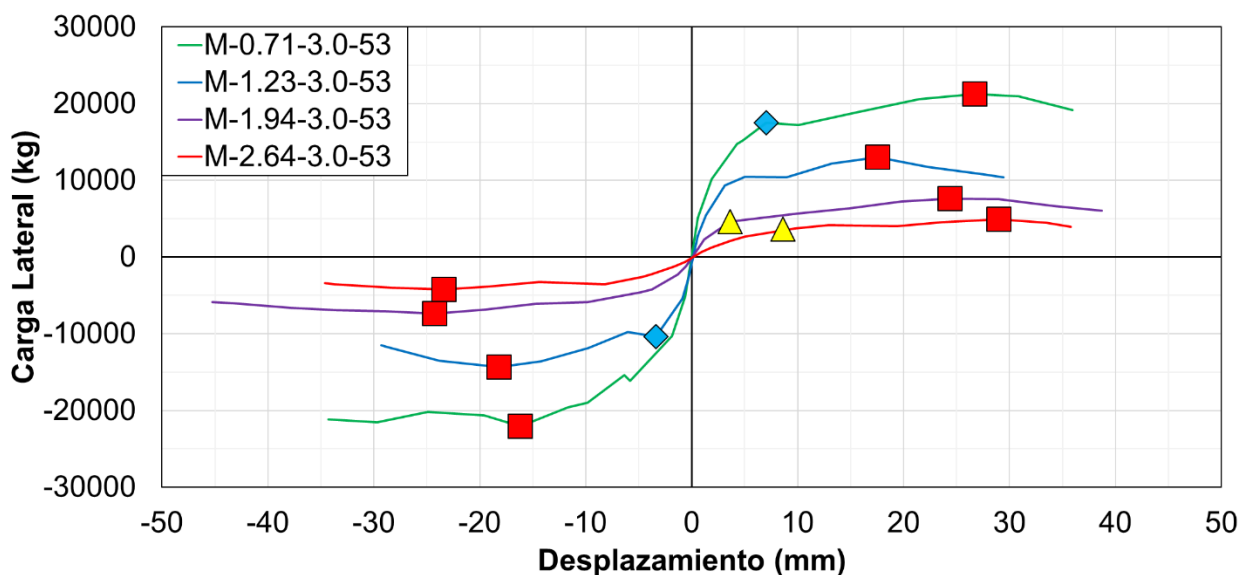


Figura 5.4. Envolvente de los muros  $f_{CCA}= 53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

Tabla 5.6. Resistencia de los muros con  $\sigma$  de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

Evento / Muro	M-0.71-3.0-53	M-1.23-3.0-53	M-1.94-3.0-53	M-2.64-3.0-53
$V_{agr} \text{ (kg)}$	17514	10339	4633	3623
$V_{max} \text{ (kg)}$	21222	13010	7600	4902
$V_u \text{ (kg)}$	19188	10408	6080	3922
$V_{agr}/V_{agr}$	1.00	1.00	1.00	1.00
$V_{max}/V_{agr}$	1.21	1.26	1.64	1.35
$V_u/V_{agr}$	1.10	1.01	1.31	1.08

En la Figura 5.4 se observó que el primer agrietamiento de los muros M-0.71-3.0-53 y M-1.23-3.0-53 estuvo asociado a cortante. Por otro lado, el primer agrietamiento de los muros M-1.94-3.0-53 y M-2.64-3.0-53 estuvo asociado a flexo-cortante. La aparición del primer agrietamiento de los muros se observó en el sentido positivo, a excepción del muro M-1.23-3.0-53 que se observó en el sentido negativo. Con base a la Tabla 5.6, se observó que la resistencia al primer agrietamiento disminuyó conforme la relación de aspecto incrementaba. Para los muros con primer agrietamiento por cortante diagonal, la resistencia depende del área del panel, de la resistencia a tensión del CCA y del esfuerzo axial aplicado. Conforme la relación de aspecto aumenta, el área en el panel disminuye; por lo tanto, la resistencia también

disminuye. Por otra parte, en muros con primer agrietamiento por flexo-cortante, la resistencia depende de la inercia, del módulo de ruptura del concreto y del esfuerzo axial aplicado. Conforme la relación de aspecto aumenta, la inercia disminuye, por lo tanto, la resistencia también disminuye. Por otro lado, se observó que la resistencia máxima disminuía conforme la relación de aspecto aumentaba. En la Tabla 5.6 se observó que la relación  $V_{max}/V_{agr}$  varió con respecto a la relación de aspecto. Sin embargo, en los muros M-0.71-3.0-53 y M-1.23-3.0-53 donde se presentó el primer agrietamiento por cortante, se observó que la relación  $V_{max}/V_{agr}$  se mantenía generalmente constante conforme la relación de aspecto incrementaba. Mientras que en los muros M-1.94-3.0-53 y M-2.64-3.0-53, donde se presentó el primer agrietamiento por flexo-cortante, se observó que la relación  $V_{max}/V_{agr}$  disminuía conforme la relación de aspecto incrementaba.

En la Figura 5.5 se presentan las envolventes de las curvas carga lateral-desplazamiento para los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ . Los marcadores en forma de rombo de color azul indican la resistencia al primer agrietamiento por cortante, los triangulares de color amarillo indican la resistencia al primer agrietamiento por flexo-cortante y los cuadrados de color rojo indican la resistencia máxima. Las envolventes de los muros M-0.71-3.0-44, M-0.71-3.0-44 y M-1.30-3.0-44 fueron limitadas al 84%, 86% y 96% de la resistencia máxima, respectivamente. Las envolventes de los muros M-1.93-3.0-44 y M-2.64-3.0-44 fueron limitadas al 80% de la resistencia máxima. En la Tabla 5.7 se presenta la resistencia de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ . Se presenta la resistencia al primer agrietamiento por cortante o flexo-cortante, la resistencia máxima y la resistencia última. En la misma tabla se presenta las resistencias normalizadas respecto a la resistencia del primer agrietamiento de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ .

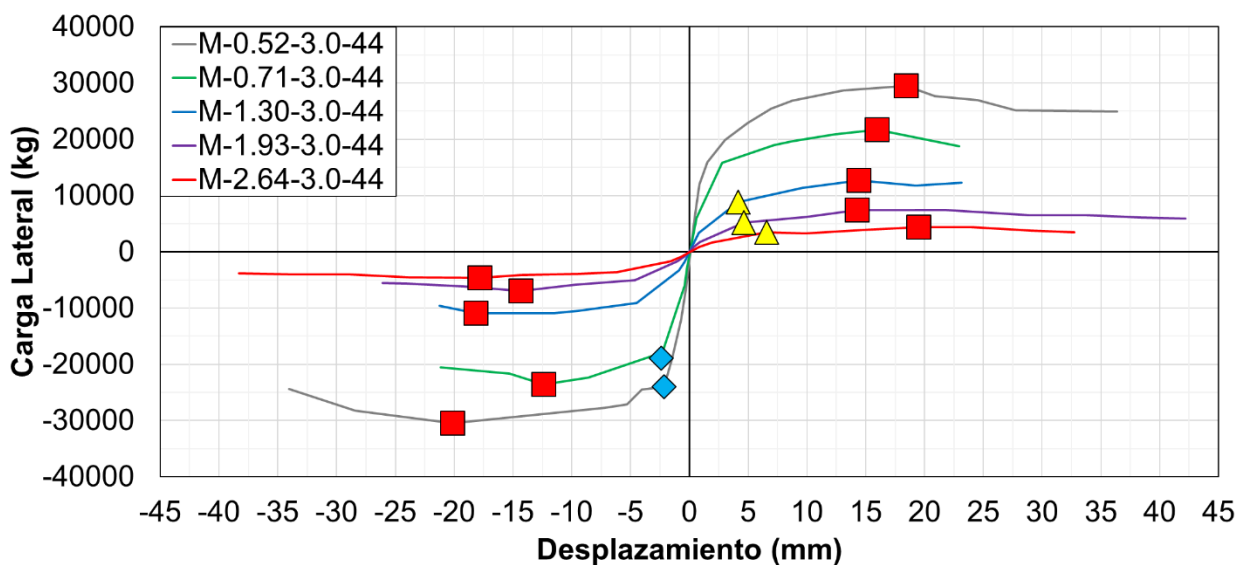


Figura 5.5. Envolvente de los muros  $f_{CCA} = 44.13 \text{ kg/cm}^2$ .

Tabla 5.7. Resistencia de los muros con  $\sigma$  de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ .

Muro	M-0.52-3.0-44	M-0.71-3.0-44	M-1.30-3.0-44	M-1.94-3.0-44	M-2.64-3.0-44
<b>Evento</b>					
<b><math>V_{agr}</math> (kg)</b>	23936	18869	8836	5178	3480
<b><math>V_{max}</math> (kg)</b>	29523	21730	12685	7416	4356
<b><math>V_u</math> (kg)</b>	24960	18752	12232	5933	3485
<b><math>V_{agr}/V_{agr}</math></b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b><math>V_{max}/V_{agr}</math></b>	1.23	1.15	1.44	1.43	1.25
<b><math>V_u/V_{agr}</math></b>	1.04	0.99	1.38	1.15	1.00

Con base en la Figura 5.5 se observó que el primer agrietamiento de los muros M-0.52-3.0-44 y M-0.71-3.0-44 estuvo asociado a cortante. Por otro lado, el primer agrietamiento de los muros M-1.30-3.0-44, M-1.94-3.0-44 y M-2.64-3.0-44 estuvo asociado a flexo-cortante. La aparición del primer agrietamiento de los muros M-0.52-3.0-44 y M-0.71-3.0-44 se observó en el sentido negativo. Por otro lado, el primer agrietamiento de los muros M-1.30-3.0-44, M-1.94-3.0-44 y M-2.64-3.0-44 se observó en el sentido positivo. Con base en la Tabla 5.7, se observó que la resistencia al primer agrietamiento disminuyó conforme la relación de aspecto aumentaba. El comportamiento observado fue similar al de muros con  $f_{CCA}$  de

53.88 kg/cm<sup>2</sup>. En la Tabla 5.7 se observó que, la relación  $V_{max}/V_{agr}$  varió con respecto a la relación de aspecto. Se observó que la relación  $V_{max}/V_{agr}$  para los muros M-0.52-3.0-44 y M-0.71-3.0-44 fue similar, con un promedio de 1.18. Mientras que la relación  $V_{max}/V_{agr}$  para los muros M-1.30-3.0-44 y M-1.94-3.0-44 fueron similares, con un promedio de 1.44. Por otro lado, la relación  $V_{max}/V_{agr}$  del muro M-2.64-3.0-44 fue 13% menor con respecto a la relación  $V_{max}/V_{agr}$  del muro M-1.94-3.0-44. En general, la relación  $V_{max}/V_{agr}$  fue mayor para los muros con el primer agrietamiento asociado a flexo-cortante.

En la Figura 5.6 se presenta las envolventes de las curvas carga lateral-desplazamiento para los muros con esfuerzo axial de 3 kg/cm<sup>2</sup>. Se incluyen los muros con  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>, y diferentes relaciones de aspecto. Los marcadores en forma de rombo de color azul indican la resistencia al primer agrietamiento por cortante, los triangulares de color amarillo indican la resistencia al primer agrietamiento por flexo-cortante y los cuadrados de color rojo indican la resistencia máxima. Las envolventes de los muros fueron limitados al 80% de la resistencia máxima. A excepción de los muros M-0.71-3.0-44 y M-0.71-3.0-53 que fueron limitados al 84% y 90% de la resistencia máxima, respectivamente. En la Tabla 5.8 se presenta la resistencia de los muros con esfuerzo axial de 3 kg/cm<sup>2</sup> y relación de aspecto de 0.71, 1.94 y 2.64, respectivamente. Se presenta la resistencia al primer agrietamiento por cortante o flexo-cortante, la resistencia máxima y a la resistencia última. En la misma tabla se presenta las resistencias normalizadas respecto a la resistencia del primer agrietamiento de los muros con esfuerzo axial de 3 kg/cm<sup>2</sup> y relación de aspecto de 0.71, 1.94 y 2.64, respectivamente.

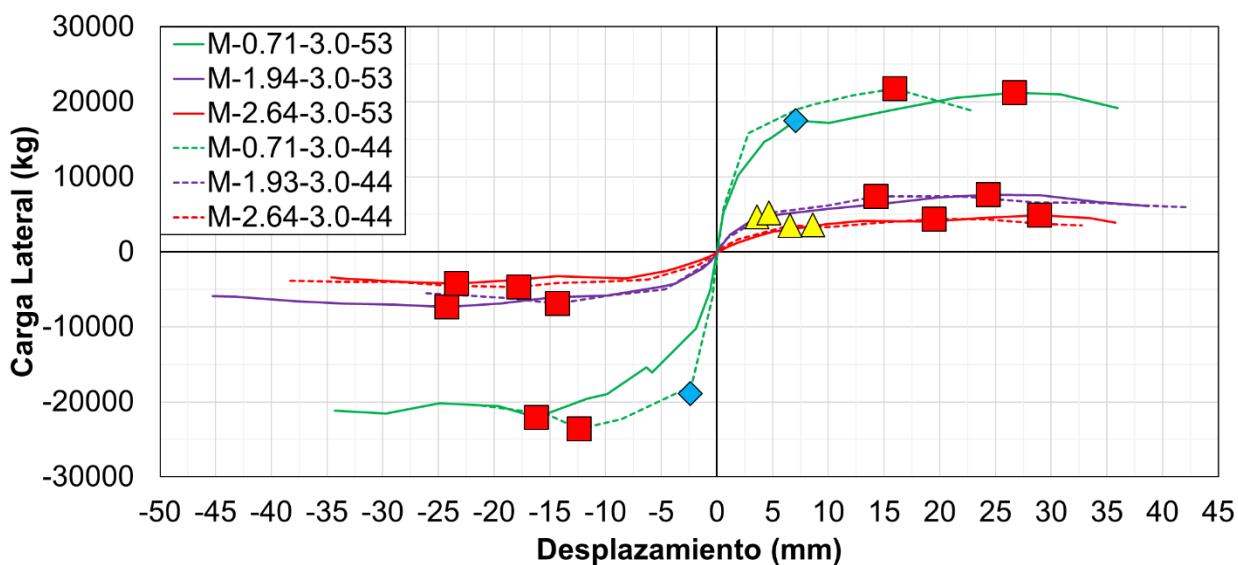


Figura 5.6. Envolvente de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$ .

Tabla 5.8. Resistencia de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y relación de aspecto de 0.71, 1.94 y 2.64.

<b>Muro</b>	<b>M-0.71-3.0-44</b>	<b>M-1.94-3.0-44</b>	<b>M-2.64-3.0-44</b>
<b>Evento</b>			
$V_{agr}$	18869	5178	3480
$V_{max}$	21730	7416	4356
$V_u$	18752	5933	3485
<b>Muro</b>	<b>M-0.71-3.0-53</b>	<b>M-1.94-3.0-53</b>	<b>M-2.64-3.0-53</b>
<b>Evento</b>			
$V_{agr}$	17514	4633	3623
$V_{max}$	21222	7600	4902
$V_u$	19188	6080	3922
<b>Muro</b>	<b>M-0.71-3.0-44</b>	<b>M-1.94-3.0-44</b>	<b>M-2.64-3.0-44</b>
<b>Evento</b>			
$V_{agr}/V_{agr}$	1.00	1.00	1.00
$V_{max}/V_{agr}$	1.15	1.43	1.25
$V_u/V_{agr}$	0.99	1.15	1.00
<b>Muro</b>	<b>M-0.71-3.0-53</b>	<b>M-1.94-3.0-53</b>	<b>M-2.64-3.0-53</b>
<b>Evento</b>			
$V_{agr}/V_{agr}$	1.00	1.00	1.00
$V_{max}/V_{agr}$	1.21	1.64	1.35
$V_u/V_{agr}$	1.10	1.31	1.08



Con base la Figura 5.6 se observó que el primer agrietamiento de los muros M-0.71-3.0-44 y M-0.71-3.0-53 estuvo asociado a cortante. Por otro lado, el primer agrietamiento de los muros M-1.94-3.0-44, M-1.94-3.0-53, M-2.64-3.0-44 y M-2.64-3.0-53 estuvo asociado a flexo-cortante. La aparición del primer agrietamiento de los muros se observó en el sentido positivo. A excepción del muro M-0.71-3.0-44, donde el primer agrietamiento se observó en el sentido negativo. Con base en la Tabla 5.8, se observó que la resistencia al primer agrietamiento en muros con relación de aspecto de 0.71 fue similar. En muros con relación de aspecto de 1.94, se observó que la resistencia al primer agrietamiento disminuyó un 12% conforme la resistencia a la compresión del CCA incrementa. En ambos muros el primer agrietamiento estuvo asociado a flexo-cortante, el cual depende de la resistencia por flexión y de la resistencia por cortante. La resistencia a la compresión del concreto para el muro M-1.94-3.0-44 fue de  $194 \text{ kg/cm}^2$  (Chim 2017) y la resistencia a la compresión del concreto para el muro M-1.94-3.0-53 fue de  $165 \text{ kg/cm}^2$  (Ricalde 2019). Por lo que la resistencia a tensión del concreto fue mayor para el primer muro y, por tanto, la resistencia al primer agrietamiento por flexo-cortante fue mayor. En muros con relación de aspecto de 2.64, se observó que la resistencia al primer agrietamiento, en general, fue similar. Esto es debido a que la resistencia a la compresión del concreto del muro M-2.64-3.0--4 fue de  $174 \text{ kg/cm}^2$  (Chim 2017), mientras que la resistencia a compresión del concreto del muro M-2.64-3.0-53 fue de  $161 \text{ kg/cm}^2$  (Ricalde 2019). El producto de  $EI$  que es el módulo de elasticidad del concreto y de la inercia transformada para ambos muros fueron similares. En la Tabla 5.8, en general, se observó que la relación  $V_{\max}/V_{\text{agr}}$  aumentó conforme la resistencia a la compresión del CCA incrementaba. Siendo en muros con relación de aspecto de 1.94, donde la relación  $V_{\max}/V_{\text{agr}}$  fue mayor con respecto a los demás muros.

### 5.3. Capacidad de deformación.

La capacidad de deformación se define como el desplazamiento último ( $\Delta_i$ ) entre el desplazamiento del primer agrietamiento ( $\Delta_{agr}$ ). En la Figura 5.7 se presenta la parte positiva de las envolventes de los muros con relación de aspecto de 1.23 y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ . El eje horizontal corresponde al desplazamiento normalizado respecto al desplazamiento asociado al primer agrietamiento ( $\Delta_i/\Delta_{agr}$ ). El eje vertical corresponde a la resistencia normalizada respecto a la carga al primer agrietamiento ( $V_i/V_{agr}$ ). Los marcadores cuadrados de color rojo indican la resistencia máxima ( $V_{max}$ ). En la Tabla 5.9 se presenta los desplazamientos y la capacidad de deformación de los muros con relación de aspecto de 1.23 y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ . En desplazamientos se presenta el desplazamiento al primer agrietamiento ( $\Delta_{agr}$ ), a la resistencia máxima ( $\Delta_{Vmax}$ ) y a la resistencia última ( $\Delta_u$ ).

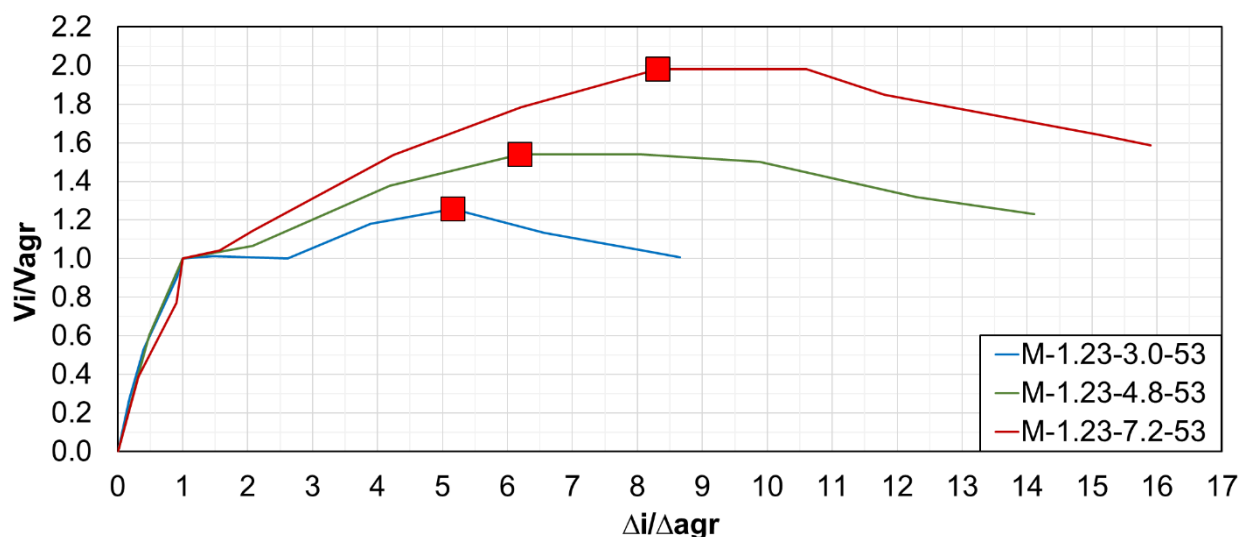


Figura 5.7. Capacidad de deformación en muros con relación de aspecto de 1.23.

Tabla 5.9. Desplazamiento y capacidad de deformación de los muros con  $H/L= 1.23$  y  $f_{CCA}= 53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

<b>Muro</b>	<b>M-1.23-3.0-53</b>	<b>M-1.23-4.8-53</b>	<b>M-1.23-7.2-53</b>
<b>Evento</b>			
$\Delta_{agr}$ (mm)	3.40	2.37	2.10
$\Delta V_{max}$ (mm)	17.54	14.64	17.46
$\Delta u$ (mm)	29.44	33.38	33.38
$\Delta_{agr}/\Delta_{agr}$	1.00	1.00	1.00
$\Delta V_{max}/\Delta_{agr}$	5.15	6.19	8.33
$\Delta u/\Delta_{agr}$	8.65	14.11	15.92

Con base en la Figura 5.7 y la Tabla 5.9 se observó que la capacidad de deformación asociada a la resistencia máxima aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba. Esto se debió a que el desplazamiento asociado al primer agrietamiento disminuyó conforme el esfuerzo axial incrementaba, mientras que el desplazamiento asociado a la resistencia máxima fue similar conforme el esfuerzo axial incrementaba. A excepción del muro M-1.23-4.80-53, donde el desplazamiento asociado a la resistencia máxima fue 16% menor con respecto al desplazamiento del muro M-1.23-3.0-53. Esto se debió a que en este muro la pérdida de la rigidez fue menor, ya que en los muros M-1.23-3.0-53 y M-1.23-7.2-53 se presentaron agrietamientos previos a la aparición del agrietamiento diagonal por cortante. La capacidad de deformación asociado a la resistencia última aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba. La resistencia última estuvo asociado a una pérdida de resistencia del 20%.

En la Figura 5.8 se presenta la parte positiva de las envolventes de los muros con relación de aspecto de 2.64 y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ . En la Tabla 5.10 se presenta los desplazamientos y la capacidad de deformación de los muros con relación de aspecto de 2.64 y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ . En desplazamientos se presenta el desplazamiento al primer agrietamiento, a la resistencia máxima y a la resistencia última.

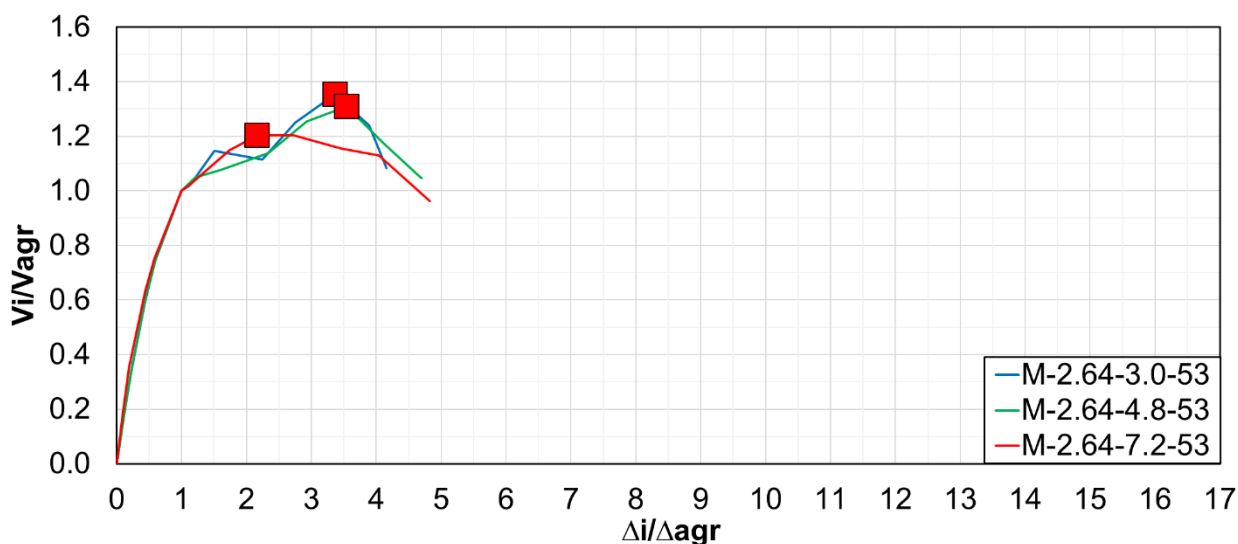


Figura 5.8. Capacidad de deformación en muros con relación de aspecto de 2.64.

Tabla 5.10. Desplazamiento y capacidad de deformación de los muros con H/L de 2.64 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

Muro	M-2.64-3.0-53	M-2.64-4.8-53	M-2.64-7.2-53
<b>Evento</b>			
$\Delta_{agr}$ (mm)	8.61	8.31	8.38
$\Delta v_{max}$ (mm)	28.98	29.45	18.17
$\Delta u$ (mm)	35.77	39.04	40.43
$\Delta_{agr} / \Delta_{agr}$	1.00	1.00	1.00
$\Delta v_{max} / \Delta_{agr}$	3.37	3.54	2.17
$\Delta u / \Delta_{agr}$	4.16	4.70	4.83

En la Figura 5.8 y en la Tabla 5.10 se observó que, en general, la capacidad de deformación asociada a la resistencia máxima disminuyó conforme el esfuerzo axial incrementaba. Esto se debió a que el desplazamiento asociado al primer agrietamiento disminuyó conforme el esfuerzo axial incrementaba. El desplazamiento asociado a la resistencia máxima en los muros M-2.64-3.0-53 y M-2.64-3.0-44 fue similar. Mientras que el desplazamiento del muro M-2.64-7.2-53 fue 38% menor con respecto al desplazamiento del muro M-2.64-4.8-53. Esto se debió a que en el muro M-2.64-7.2-3.0 se presentó un puntal de compresión en el sentido positivo de la carga. La capacidad de deformación asociado a la resistencia

última aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba. La resistencia última estuvo asociado a una pérdida de resistencia del 20%.

En la Figura 5.9 se presenta la parte positiva de las envolventes de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ . En la Tabla 5.11 se presentan los desplazamientos y capacidad de deformación de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ . En desplazamientos se presenta el desplazamiento al primer agrietamiento, la resistencia máxima y la resistencia última.

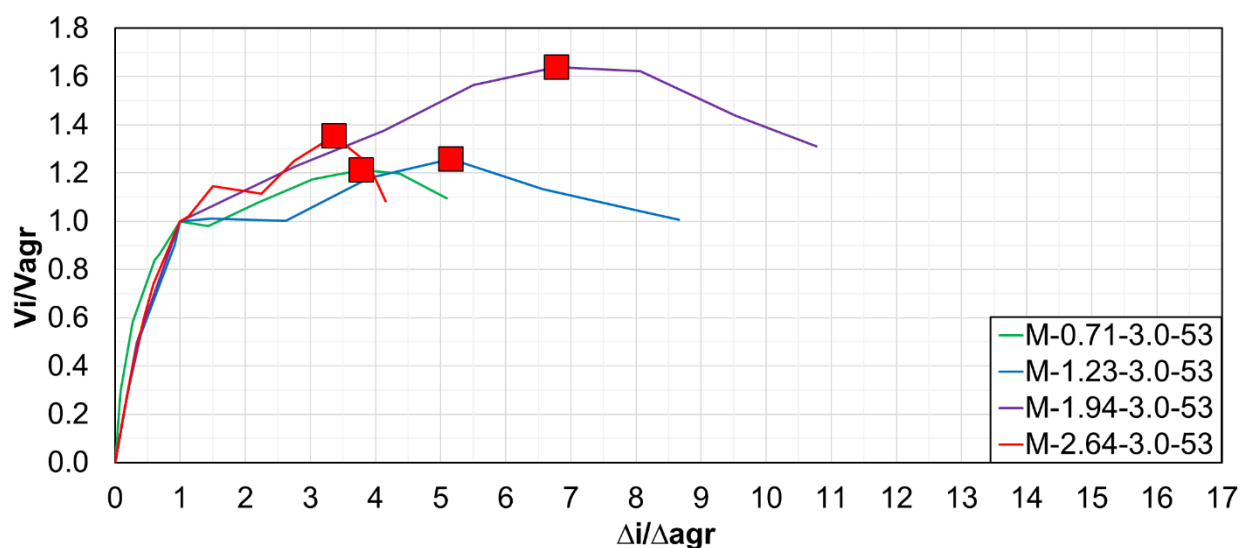


Figura 5.9. Capacidad de deformación de los muros con  $\sigma$  de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

Tabla 5.11. Desplazamiento y capacidad de deformación de los muros con  $\sigma$  de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

Evento / Muro	M-0.71-3.0-53	M-1.23-3.0-53	M-1.94-3.0-53	M-2.64-3.0-53
$\Delta_{agr}$ (mm)	7.06	3.40	3.60	8.61
$\Delta v_{max}$ (mm)	26.72	17.54	24.37	28.98
$\Delta u$ (mm)	35.97	29.44	38.73	35.77
$\Delta_{agr}/\Delta_{agr}$	1.00	1.00	1.00	1.00
$\Delta v_{max}/\Delta_{agr}$	3.78	5.15	6.78	3.37
$\Delta u/\Delta_{agr}$	5.09	8.65	10.77	4.16

En la Figura 5.9 y en la Tabla 5.11, se observó que no se presentó tendencia alguna en la capacidad de deformación asociada a la resistencia máxima conforme la relación de aspecto incrementaba. Sin embargo, en los muros M-0.71-3.0-53 y M-1.23-3.0-53 donde se presentó el primer agrietamiento diagonal por cortante, se observó que la capacidad de deformación asociada a la resistencia máxima aumentó conforme la relación de aspecto incrementaba. Esto se debió a que el desplazamiento asociado al primer agrietamiento disminuyó conforme la relación de aspecto incrementaba. Cabe mencionar que en el muro M-0.71-3.0-53 se presentaron agrietamientos previos a la aparición del primer agrietamiento diagonal por cortante. Por lo que se presentó una pérdida de la rigidez lateral y los desplazamientos aumentaron. Del mismo modo se observó que el desplazamiento asociado a la resistencia máxima disminuyó conforme el esfuerzo axial incrementaba. En los muros M-1.94-3.0-53 y M-2.64-3.0-53 donde se presentó el primer agrietamiento por flexo-cortante, se observó que la capacidad de deformación asociada a la resistencia máxima disminuye conforme la relación de aspecto aumenta. Esto se debió a que el desplazamiento asociado al primer agrietamiento por flexo-cortante aumentó conforme la relación de aspecto incrementaba, mientras que el desplazamiento asociado a la resistencia máxima aumentó conforme la relación de aspecto incrementa. Esto se debió a que la rigidez lateral disminuyó conforme la relación de aspecto aumentaba. En muros donde se presentó el agrietamiento por cortante, la capacidad de deformación asociado a la resistencia última aumentó conforme la relación de aspecto incrementaba. Mientras que en muros donde se presentó el agrietamiento por flexo-cortante, la capacidad de deformación disminuyó conforme la relación de aspecto incrementaba. Para el primer caso, se observó que el desplazamiento asociado al primer agrietamiento fue mayor para el muro con menor relación de aspecto. Lo cual fue contrario a lo esperado. Esto se debió a la aparición de agrietamientos previos a la formación de la grieta diagonal. Adicionalmente, la carga última reportada para este muro estuvo limitada a una pérdida de resistencia del 10%.

En la Figura 5.10 se presenta la parte positiva de las envolventes de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ . En la Tabla 5.12 se presenta los desplazamientos y la capacidad de deformación de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ . En desplazamientos se presenta el desplazamiento al primer agrietamiento, la resistencia máxima y la resistencia última.

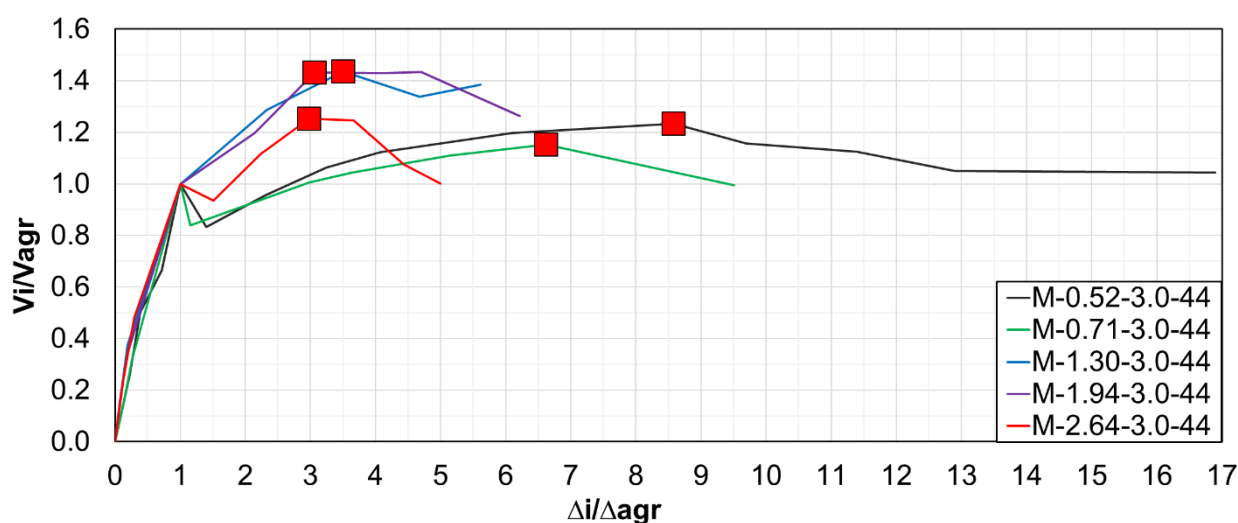


Figura 5.10. Capacidad de deformación normalizada en muros con  $\sigma$  de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ .

Tabla 5.12. Desplazamiento de los muros con  $\sigma$  de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ .

Muro	M-0.52-3.0-44	M-0.71-3.0-44	M-1.30-3.0-44	M-1.94-3.0-44	M-2.64-3.0-44
<b>Evento</b>					
$\Delta_{agr}$ (mm)	2.15	2.41	4.12	4.65	6.55
$\Delta v_{max}$ (mm)	18.46	15.97	14.44	14.25	19.50
$\Delta u$ (mm)	36.36	22.95	23.13	42.18	32.75
$\Delta_{agr}/\Delta_{agr}$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$\Delta v_{max}/\Delta_{agr}$	8.58	6.62	3.50	3.07	2.98
$\Delta u/\Delta_{agr}$	16.90	9.51	5.61	9.07	5.00

Con base en la Figura 5.10 y en la Tabla 5.12, se observó que, para los muros con comportamiento dominado por cortante, la capacidad de deformación asociada a la resistencia máxima disminuyó conforme la relación de aspecto incrementaba.

Mientras que para muros con comportamiento dominado por flexo-cortante, la capacidad de deformación fue similar conforme la relación de aspecto incrementaba. Esto se debió a que la degradación de la rigidez en muros dominados con comportamiento por cortante fue mayor con respecto a los muros dominados con comportamiento por flexo-cortante. Adicionalmente, para el primer caso, se debió a que el desplazamiento asociado al primer agrietamiento aumentó conforme la relación de aspecto incrementaba, mientras que el desplazamiento asociado a la resistencia máxima disminuyó conforme la relación de aspecto incrementaba. Esto se debió a que en los muros M-0.52-3.0-44 y M-0.71-3.0-44 se presentaron agrietamientos previos a la aparición del primer agrietamiento diagonal por cortante. Lo que implicó que la rigidez en ambos muros disminuyera. Por otro lado, en los muros M-1.30-3.0-44, M-1.94-3.0-44 y M-2.64-3.0-44 no se presentaron agrietamientos previos al primer agrietamiento por flexo-cortante. Por lo que, para este grupo de muros, el desplazamiento asociado al primer agrietamiento aumentó conforme la relación de aspecto incrementaba. Del mismo modo sucedió con el desplazamiento asociado a la resistencia máxima. Esto se debió a que la rigidez lateral del muro disminuyó conforme la relación de aspecto aumentaba. La capacidad de deformación asociado a la resistencia última, en general, disminuyó conforme la relación de aspecto incrementaba. Sin embargo, los desplazamientos últimos estuvieron a diferentes pérdidas de resistencia.

En la Figura 5.11 se presenta la parte positiva de las envolventes de los muros con  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>, y diferentes relaciones de aspecto. En la Tabla 5.13 se presenta los desplazamientos y la capacidad de deformación de los muros con  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>, y diferentes relaciones de aspecto. En desplazamientos se presenta el desplazamiento al primer agrietamiento, a la resistencia máxima y a la resistencia última.



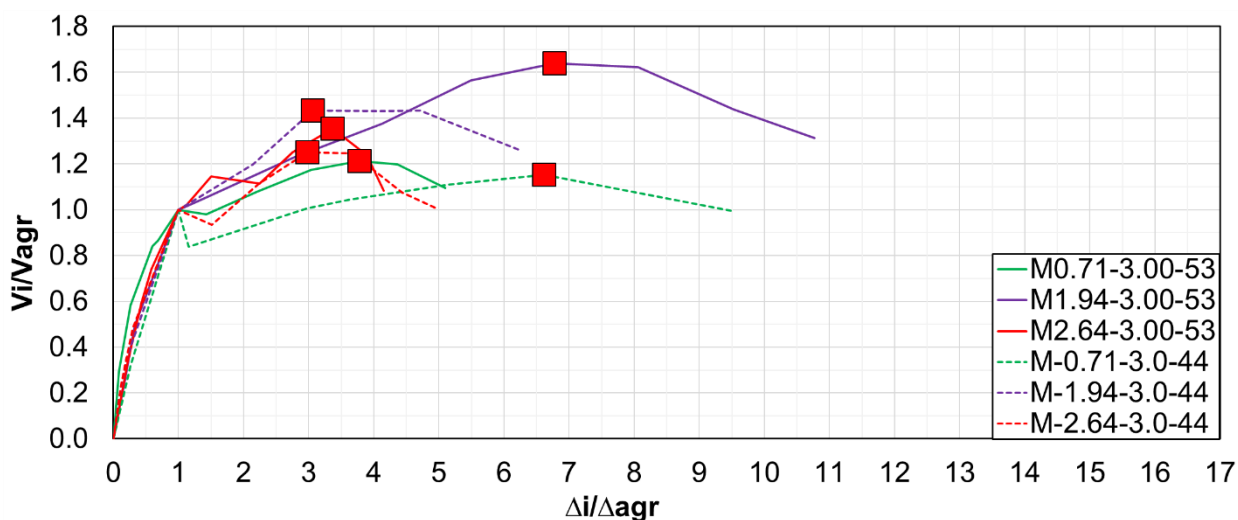


Figura 5.11. Capacidad de deformación en muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y relación de aspecto de 0.71, 1.94 y 2.64.

Tabla 5.13..Desplazamiento de muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y relación de aspecto de 0.71, 1.94 y 2.64.

<b>Muro</b>			
<b>Evento</b>	<b>M-0.71-3.0-44</b>	<b>M-1.94-3.0-44</b>	<b>M-2.64-3.0-44</b>
$\Delta_{agr}$ (mm)	2.41	4.65	6.55
$\Delta_{Vmax}$ (mm)	15.97	14.25	19.5
$\Delta_u$ (mm)	22.95	42.18	32.75
<b>Muro</b>			
<b>Evento</b>	<b>M-0.71-3.0-53</b>	<b>M-1.94-3.0-53</b>	<b>M-2.64-3.0-53</b>
$\Delta_{agr}$ (mm)	7.06	3.60	8.61
$\Delta_{Vmax}$ (mm)	26.72	24.37	28.98
$\Delta_u$ (mm)	35.97	38.73	35.77
<b>Muro</b>			
<b>Evento</b>	<b>M-0.71-3.0-44</b>	<b>M-1.94-3.0-44</b>	<b>M-2.64-3.0-44</b>
$\Delta_{agr}/\Delta_{agr}$	1.00	1.00	1.00
$\Delta_{Vmax}/\Delta_{agr}$	6.62	3.07	2.98
$\Delta_u/\Delta_{agr}$	9.51	9.07	5.00
<b>Muro</b>			
<b>Evento</b>	<b>M-0.71-3.0-53</b>	<b>M-1.94-3.0-53</b>	<b>M-2.64-3.0-53</b>
$\Delta_{agr}/\Delta_{agr}$	1.00	1.00	1.00
$\Delta_{Vmax}/\Delta_{agr}$	3.78	6.78	3.37
$\Delta_u/\Delta_{agr}$	5.09	10.77	4.16

Con base en la Tabla 5.13 se observó que en muros con relación de aspecto de 0.71, el desplazamiento asociado al primer agrietamiento aumentó conforme  $f_{CCA}$  aumentaba. Esto es debido a que en ambos muros presentaron agrietamientos previos a la aparición del primer agrietamiento diagonal por cortante. El desplazamiento asociado a la resistencia máxima aumentó conforme  $f_{CCA}$  aumentaba. En muros con relación de aspecto de 1.94, el desplazamiento asociado al primer agrietamiento disminuyó conforme  $f_{CCA}$  aumenta. Esto es debido a que  $f_{CCA}$  contribuye en la rigidez del muro. Además, no se presentaron agrietamientos previos a la aparición del primer agrietamiento por flexo-cortante. En muros con relación de aspecto de 2.64, el desplazamiento asociado al primer agrietamiento aumentó conforme  $f_{CCA}$  aumenta. Esto es debido a que en el muro M-2.64-3.0-53 se presentaron agrietamientos previos a la aparición del primer agrietamiento por flexo-cortante. Para muros con relación de aspecto de 1.94 y 2.64, el desplazamiento asociado a la resistencia máxima aumentó conforme  $f_{CCA}$  aumentaba. Con base en la Figura 5.11 y la Tabla 5.13, en muros con relación de aspecto de 0.71, 1.94 y de 2.64, la capacidad de deformación, en general, aumentó conforme  $f_{CCA}$  aumenta.

## 5.4. Degradación de rigidez.

Un parámetro importante en la evaluación de estructuras existentes, como el diseño de nuevas estructuras de mampostería, es la degradación de rigidez, debido a que el daño de éstas está asociado a su capacidad de soportar las cargas laterales (Tena et al. 2009). Para fines de estudio de la evolución del daño asociado al primer agrietamiento, se define la degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ) como la diferencia de la rigidez asociada al primer agrietamiento ( $K_{agr}/K_{agr}$ ) y la rigidez residual ( $K_i/K_{agr}$ ). La rigidez al primer agrietamiento se define como la secante obtenida de la relación de la resistencia al primer agrietamiento con su respectivo desplazamiento. La rigidez instantánea ( $K_i$ ) es la rigidez secante obtenida para diferentes desplazamientos de las envolventes carga-desplazamiento de los muros estudiados. Se observó que la rigidez al primer agrietamiento presenta una pérdida de la rigidez con respecto a la rigidez inicial ( $K_o$ ). La rigidez inicial es la relación de la resistencia al primer ciclo con su correspondiente desplazamiento. Por lo tanto, la degradación de la rigidez también se puede evaluar respecto a la rigidez inicial ( $\bar{k}_o$ ), siendo la diferencia de la rigidez asociada a la rigidez inicial ( $K_o/K_o$ ) y la rigidez residual inicial ( $K_i/K_o$ ).

En la Tabla 5.14 se presenta la rigidez inicial ( $K_o$ ), la rigidez al primer agrietamiento ( $K_{agr}$ ), la rigidez a la resistencia máxima ( $K_{Vmax}$ ) y la rigidez a la resistencia última ( $K_u$ ) de los muros con relación de aspecto de 1.23 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>. En la Figura 5.12 y Figura 5.13 se presenta la rigidez residual respecto a la rigidez al primer agrietamiento ( $K_i/K_{agr}$ ) y a la rigidez inicial ( $K_i/K_o$ ), respectivamente. El eje horizontal corresponde a la capacidad de deformación ( $\Delta_i/\Delta_{agr}$ ) y el eje vertical a la rigidez residual. Los marcadores cuadrados de color rojo indican la carga máxima.

Tabla 5.14. Rigidez de los muros con H/L = 1.23 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

Muro	$K_o$ (kg/mm)	$K_{agr}$ (kg/mm)	$K_{Vmax}$ (kg/mm)	$K_u$ (kg/mm)
M-1.23-3.0-53	4643.34	3040.94	741.90	353.39
M-1.23-4.8-53	5370.79	4192.56	1043.30	366.15
M-1.23-7.2-53	10590.66	4160.12	992.00	415.04

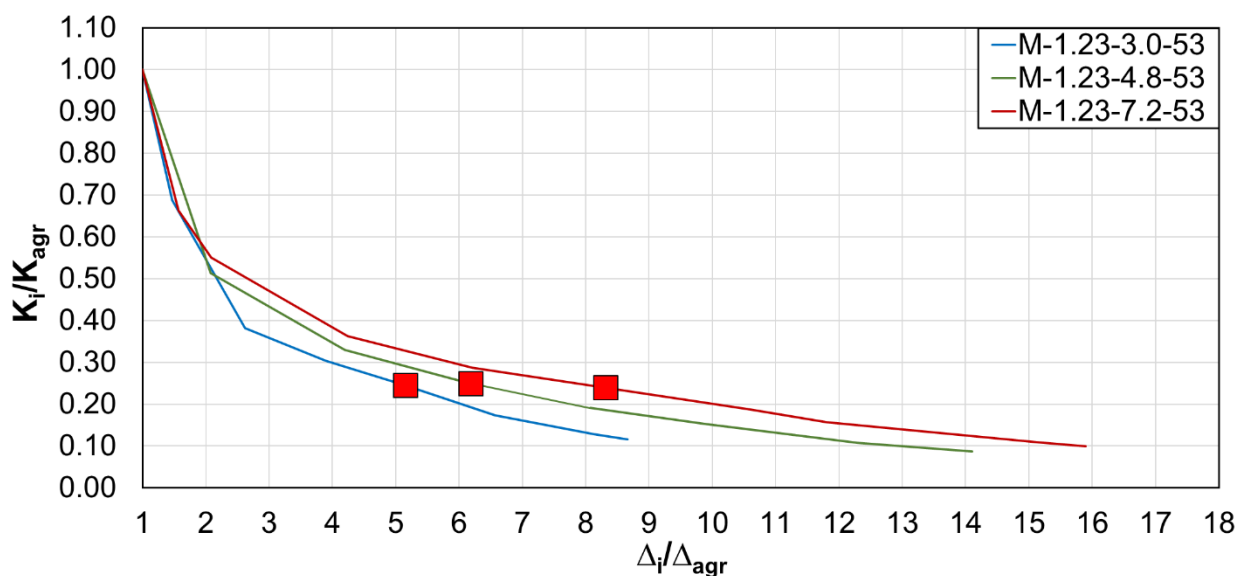


Figura 5.12. Rigidez residual ( $K_i/K_{agr}$ ) en muros con H/L de 1.23 y  $f_{CCA}$  de 53.88  $kg/cm^2$ .

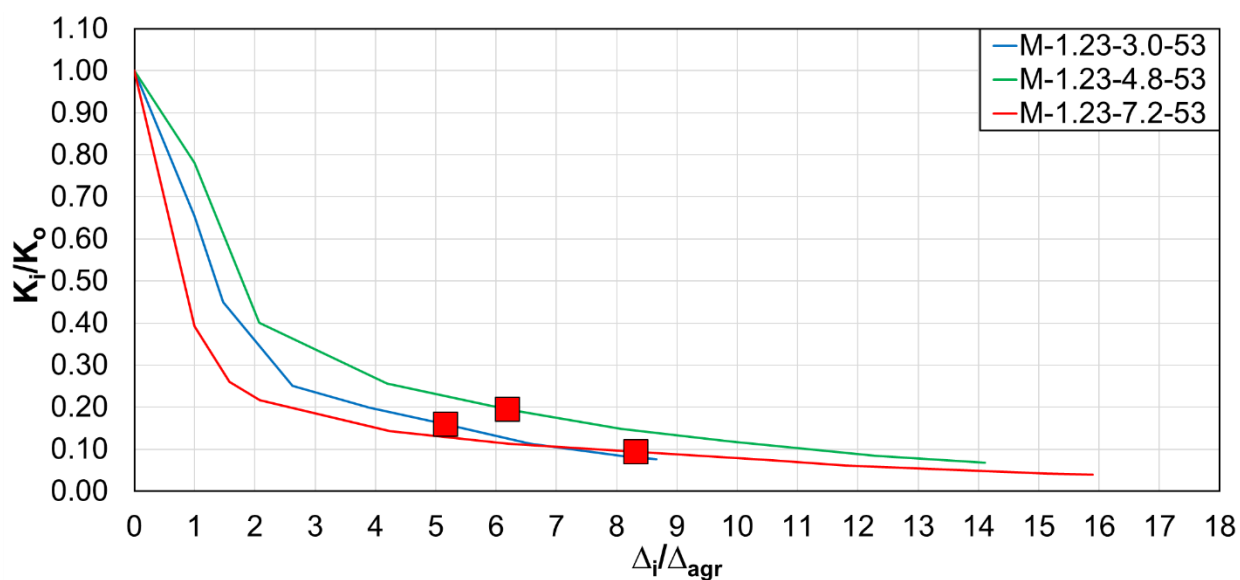


Figura 5.13. Rigidez residual ( $K_i/K_o$ ) en muros con H/L de 1.23 y  $f_{CCA}$  de 53.88  $kg/cm^2$ .

Con base en la Tabla 5.14 se observó que la rigidez inicial aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba. Esto se debió a que el esfuerzo axial restringe el desplazamiento lateral del muro. La rigidez al primer agrietamiento y la rigidez a la resistencia máxima, en general, aumenta conforme el esfuerzo axial incrementa. Se

observa que  $K_{agr}$  para el muro M-1.23-7.2-53 fue similar a la  $K_{agr}$  del muro M-1.23-4.8-53. Esto es debido a que, en el primer muro, previo a la aparición de la primera grieta diagonal por cortante, se observaron agrietamientos en el panel. La rigidez a la resistencia última aumenta conforme el esfuerzo axial incrementa, por lo que el esfuerzo axial restringe el desplazamiento lateral del muro a pesar del grado de daño de los muros. En la Figura 5.12 se observó que la tendencia de la rigidez residual fue similar para los tres muros. La degradación de la rigidez a la resistencia máxima fue similar, varió entre 0.75 y 0.76. La degradación de la rigidez a la resistencia última también fue similar, varió entre 0.88 y 0.91. Por su parte, en la Figura 5.13 se observó que la rigidez residual no sigue una tendencia similar para los tres muros. La degradación de la rigidez asociada a la resistencia máxima, en general, aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba, siendo entre 0.81 y 0.90. La degradación de la rigidez asociada a la resistencia última fue similar conforme el esfuerzo axial incrementaba, siendo entre 0.88 y 0.91.

En la Tabla 5.15 se presenta la degradación de la rigidez con respecto a la rigidez al primer agrietamiento ( $\bar{k}$ ) y con respecto a la rigidez inicial ( $\bar{k}_o$ ). Las celdas sombreadas de color naranja indican el intervalo donde se ubica la resistencia máxima de cada muro.

Tabla 5.15. Degradación de la rigidez para muros con H/L de 1.23 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

$\bar{\delta}$	$\bar{k}$			$\bar{k}_o$		
	3.0 kg/cm <sup>2</sup>	4.8 kg/cm <sup>2</sup>	7.2 kg/cm <sup>2</sup>	3.0 kg/cm <sup>2</sup>	4.8 kg/cm <sup>2</sup>	7.2 kg/cm <sup>2</sup>
1	0.000	0.000	0.000	0.345	0.219	0.607
2	0.496	0.470	0.435	0.670	0.586	0.778
3	0.648	0.599	0.563	0.770	0.687	0.828
4	0.703	0.662	0.627	0.806	0.736	0.853
5	0.750	0.711	0.674	0.836	0.774	0.872
6	0.803	0.746	0.707	0.871	0.802	0.885
7	0.842	0.780	0.735	0.896	0.828	0.896
8	0.869	0.807	0.756	0.914	0.850	0.904
9	---	0.831	0.780	---	0.868	0.913
10	---	0.851	0.802	---	0.883	0.922
11	---	0.871	0.824	---	0.899	0.931
12	---	0.888	0.847	---	0.913	0.940
13	---	0.901	0.864	---	0.923	0.946
14	---	---	0.878	---	---	0.952
15	---	---	0.890	---	---	0.957

Con base a la Tabla 5.15, se observó que, para una cierta capacidad de deformación, la degradación de la rigidez con respecto a  $K_{agr}$  disminuyó conforme el esfuerzo axial incrementaba. Esto es debido a que el esfuerzo axial restringe el desplazamiento lateral. Mientras que la degradación de la rigidez con respecto a  $K_o$ , no presentó tendencia alguna en la capacidad de deformación del 1 al 7. Esto se debió a que en los muros M-1.23-3.0-53 y M-1.23-7.2-53 se presentaron agrietamientos previos a la aparición del primer agrietamiento por cortante, lo que implicó una mayor pérdida de la rigidez. A partir de la capacidad de deformación de 7, se presentó una similitud de la degradación de la rigidez conforme el esfuerzo axial incrementaba. Esto se debe al grado de daño que ya se presentaban en los muros.

En la Tabla 5.16 se presenta la rigidez inicial ( $K_o$ ), la rigidez al primer agrietamiento ( $K_{agr}$ ), la rigidez a la resistencia máxima ( $K_{Vmax}$ ) y la rigidez a la resistencia última ( $K_u$ ) de los muros con relación de aspecto de 2.64 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>. En la Figura

5.14 y Figura 5.15 se presentan la rigidez residual respecto a la rigidez al primer agrietamiento ( $K_i/K_{agr}$ ) y a la rigidez inicial ( $K_i/K_o$ ), respectivamente. Los marcadores cuadrados de color rojo indican la carga máxima.

Tabla 5.16. Rigidez de los muros con  $H/L = 2.64$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

Muro	$K_o$ (kg/mm)	$K_{agr}$ (kg/mm)	$K_{Vmax}$ (kg/mm)	$K_u$ (kg/mm)
M-2.64-3.0-53	672.10	420.92	169.17	109.63
M-2.64-4.8-53	667.04	422.67	156.04	94.18
M-2.64-7.2-53	932.67	493.12	273.53	98.36

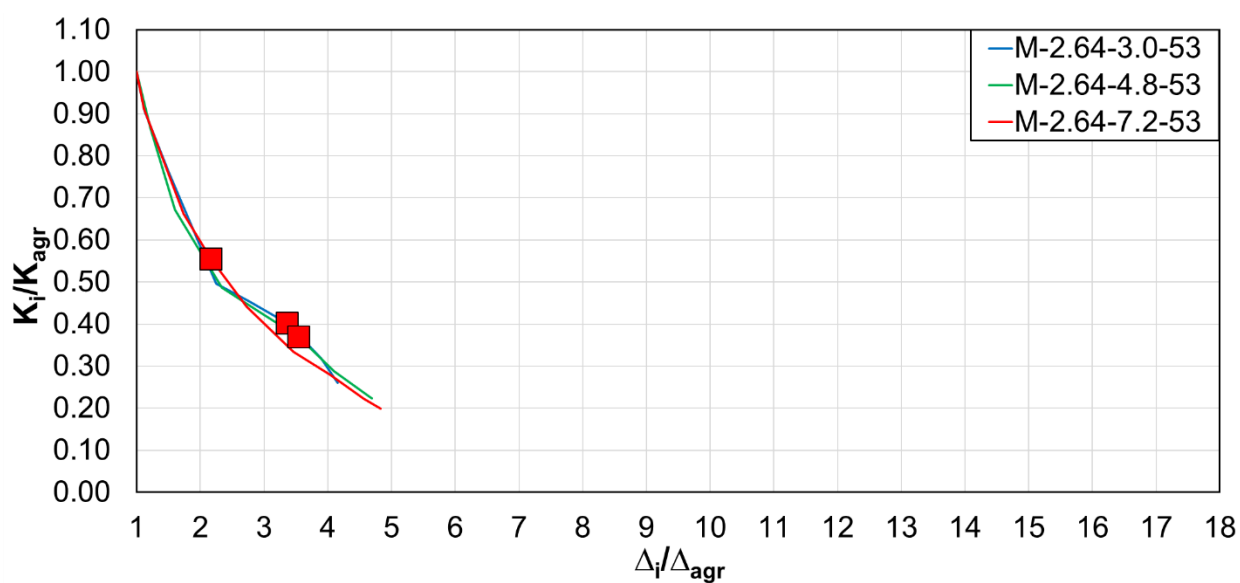


Figura 5.14. Rigidez residual al primer agrietamiento de muros con  $H/L$  de 2.64 y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

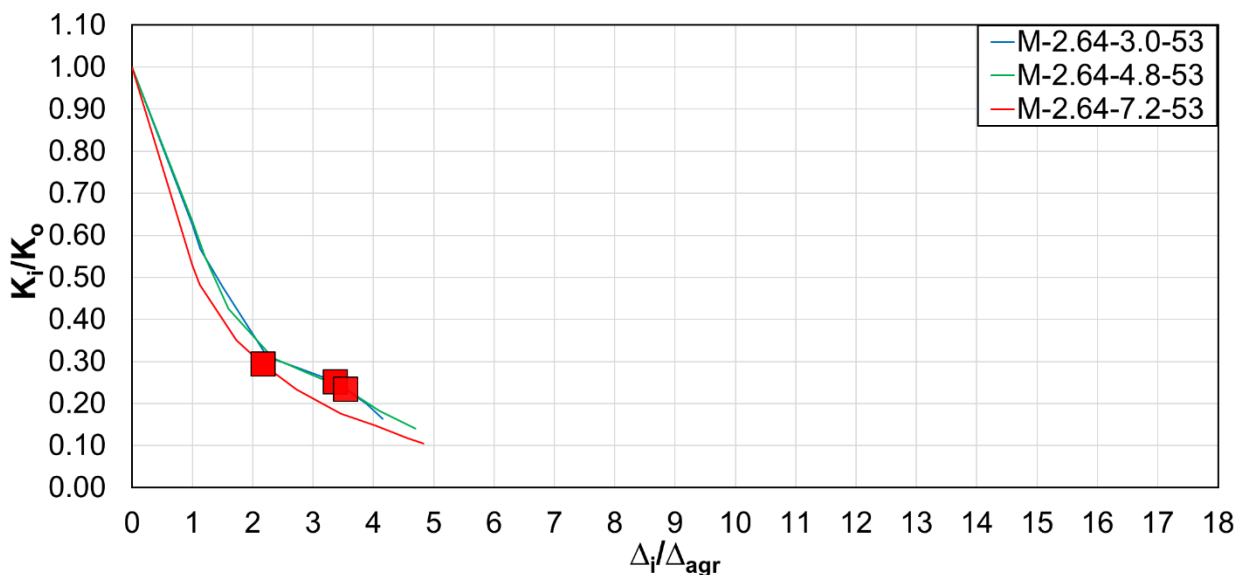


Figura 5.15. Rigidez residual inicial de muros con H/L de 2.64 y  $f_{CCA}$  de 53.88  $\text{kg/cm}^2$ .

Con base en la Tabla 5.16 se observó que la rigidez inicial, en general, aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba. Esto se debió a que el esfuerzo axial restringe el desplazamiento lateral del muro. Mientras que la rigidez al primer agrietamiento aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba. Esto se debió a que en los tres muros presentaron agrietamientos previos a la aparición del primer agrietamiento por flexo-cortante. La rigidez a la resistencia máxima de los muros M-2.64-3.0-53 y M-2.64-4.8-53 fue similar, mientras que la rigidez del muro M-2.64-7.2-53 se presentó fue mayor. Este incremento de la rigidez se debió a la formación de un puntal de compresión. La rigidez a la resistencia última, en general, fue similar conforme el esfuerzo axial incrementa. Esto se debió al grado de daño que ya se presentaban en los tres muros. En la Figura 5.14 se observó que la tendencia de la rigidez residual fue similar para los tres muros. La degradación de la rigidez asociada a la resistencia máxima de los muros M-2.64-3.0-53 y M-2.64-4.8-53 fue similar. Mientras que la degradación de la rigidez del muro M-2.64-7.2-53 fue 28% menor con respecto a la degradación del muro M-2.64-4.8-53. Esto se debió a la formación del puntal de compresión en el muro M-2.64-7.2-63 durante en el ensayo. La degradación varió entre el 45% y el 60%. La degradación de la rigidez a



la resistencia última fue similar conforme el esfuerzo axial incrementa. Varió entre el 74% y el 80%. Por su parte, en la Figura 5.15 se observó que la rigidez residual inicial no sigue una tendencia similar para los tres muros. Esto se debió a que en el muro M-2.64-7.2-53 se presentó el agrietamiento por flexo-cortante y el agrietamiento diagonal por cortante en el mismo ciclo. Este último agrietamiento causó el aumento de la pérdida de la rigidez en dicho muro. La degradación de la rigidez asociada a la resistencia máxima fue similar conforme el esfuerzo axial incrementa, varió entre el 70% y el 78%. La degradación de la rigidez a la resistencia última fue similar conforme el esfuerzo axial incrementa, varió entre el 85% y el 90%.

En la Tabla 5.17 se presenta la degradación de la rigidez con respecto a la rigidez al primer agrietamiento ( $\bar{k}$ ) y con respecto a la rigidez inicial ( $\bar{k}_o$ ). Las celdas sombreadas de color naranja indican el rango donde se ubica la resistencia máxima de cada muro.

Tabla 5.17. Degradación de la rigidez al primer agrietamiento y a la inicial en muros con H/L de 2.64 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

$\bar{\delta}$	$\bar{k}$			$\bar{k}_o$		
	3.0 kg/cm <sup>2</sup>	4.8 kg/cm <sup>2</sup>	7.2 kg/cm <sup>2</sup>	3.0 kg/cm <sup>2</sup>	4.8 kg/cm <sup>2</sup>	7.2 kg/cm <sup>2</sup>
1	0.000	0.000	0.000	0.374	0.366	0.471
2	0.438	0.445	0.409	0.648	0.648	0.687
3	0.569	0.580	0.605	0.730	0.734	0.791
4	0.706	0.700	0.717	0.816	0.810	0.851

En la Tabla 5.17 se observa que, para una cierta capacidad de deformación, la degradación de la rigidez con respecto a  $K_{agr}$  y a  $K_o$ , en general, disminuye conforme aumenta el esfuerzo axial. Esto es debido a que el esfuerzo axial contribuye en la restricción del desplazamiento lateral.

En la Tabla 5.18 se presenta la rigidez inicial ( $K_o$ ), la rigidez al primer agrietamiento ( $K_{agr}$ ), la rigidez a la resistencia máxima ( $K_{Vmax}$ ) y la rigidez a la resistencia última ( $K_u$ ) de los muros con esfuerzo axial de 3 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>. En la Figura

5.16 y Figura 5.17 se presentan la rigidez residual respecto a la rigidez al primer agrietamiento ( $K_i/K_{agr}$ ) y a la rigidez inicial ( $K_i/K_o$ ), respectivamente. Los marcadores cuadrados de color rojo indican la carga máxima.

Tabla 5.18. Rigidez de los muros con  $\sigma$  de 3 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>

Muro	$K_o$ (kg/mm)	$K_{agr}$ (kg/mm)	$K_{Vmax}$ (kg/mm)	$K_u$ (kg/mm)
<b>M-0.71-3.0-53</b>	8789.32	2480.86	794.26	533.51
<b>M-1.23-3.0-53</b>	4643.34	3040.94	741.90	353.39
<b>M-1.94-3.0-53</b>	1904.52	1288.18	311.84	156.98
<b>M-2.64-3.0-53</b>	672.10	420.92	169.17	109.63

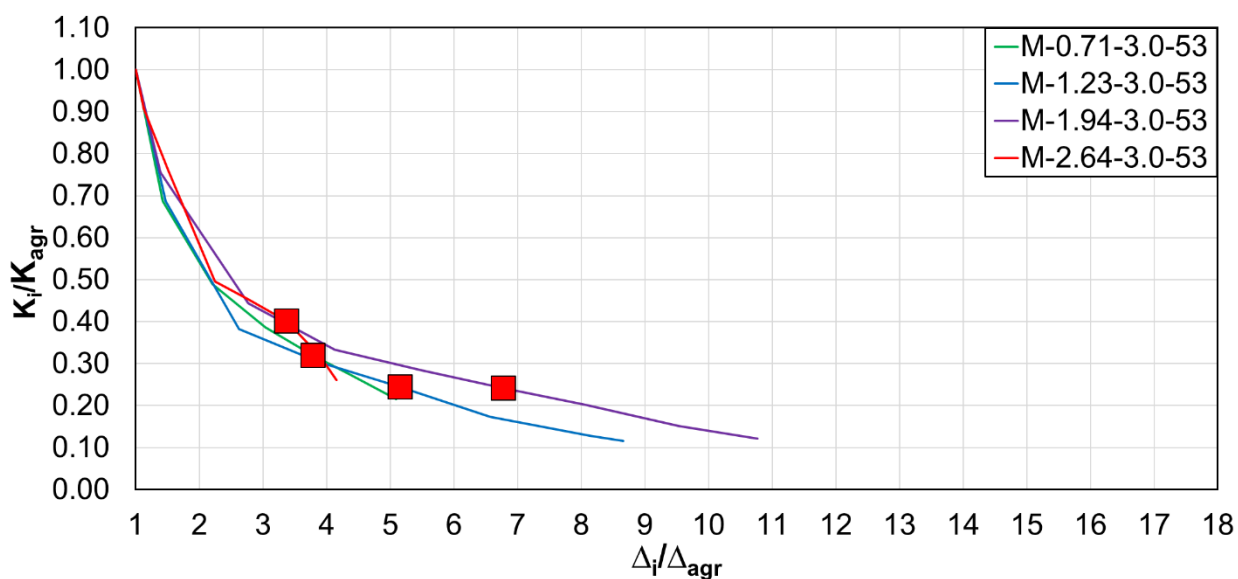


Figura 5.16. Rigidez residual al primer agrietamiento de muros con  $\sigma$  de 3 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

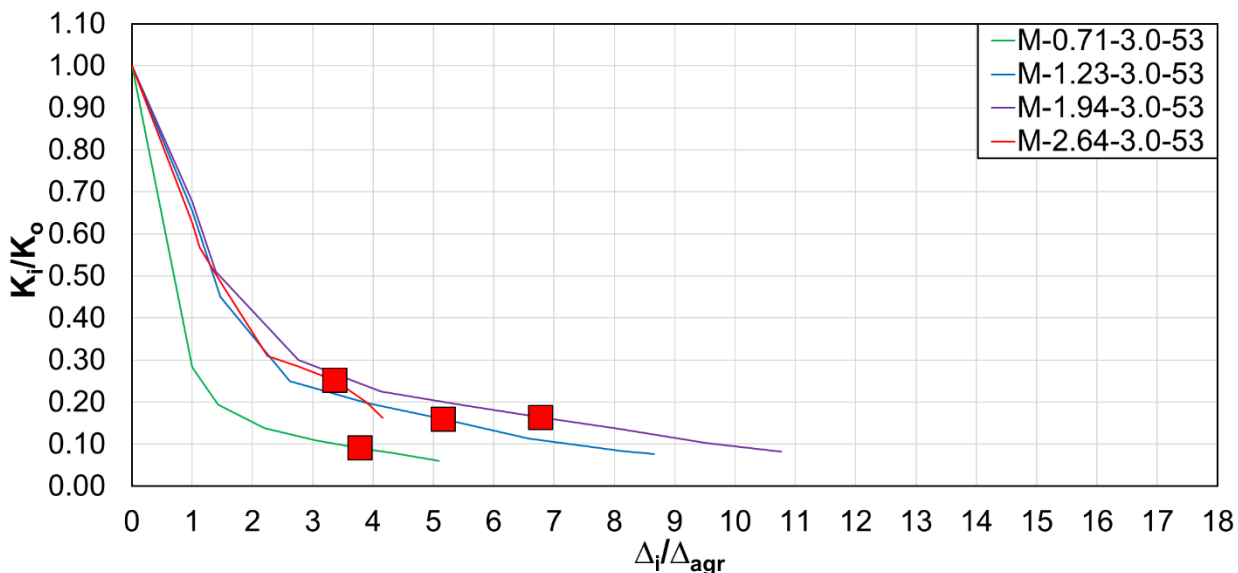


Figura 5.17. Rigidez residual inicial de muros con  $\sigma$  de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

Con base en la Tabla 5.18 se observó que la rigidez inicial, la rigidez al primer agrietamiento, a la resistencia máxima y a la resistencia última, disminuyeron conforme la relación de aspecto incrementaba. Esto se debió a que conforme disminuye la relación de aspecto, la inercia del muro aumenta. En la Figura 5.16 se observó que, en general, hay una tendencia de la rigidez residual para los cuatro muros. Además, se observó que la degradación de la rigidez aumentó conforme la relación de aspecto incrementaba, a excepción del muro M-2.64-3.0-53 donde la degradación de la rigidez fue limitada a una capacidad de deformación de 4. Mientras que la degradación de la rigidez del muro M-0.71-3.0-53 fue limitado a una capacidad de deformación de 5. Se observó que la degradación de la rigidez asociado a la carga máxima no presentó tendencia alguna conforme la relación de aspecto aumentaba. Esto se debió a la aparición de agrietamientos previos al primer agrietamiento por cortante o flexo-cortante presentado en el muro. Se observó que la degradación de los muros M-0.71-3.0-53, M-1.23-3.0-53 y M-1.94-3.0-53 fue similar, varió entre el 68% y el 76%. La degradación de la rigidez del muro M-2.64-3.0-53 fue 21% menor con respecto a la degradación de la rigidez del muro M-1.94-3.0-53. En la Figura 5.17 se observó que la rigidez residual no presentó una

tendencia alguna para los cuatro muros. Se observó que la rigidez residual de los muros M-1.23-3.0-53, M-1.94-3.0-53 y M-2.64-3.0-53 fue similar, mientras que la degradación de la rigidez del muro M-0.71-3.0-53 fue mayor con respecto a los tres muros anteriores. Esto se debió a que en este último muro se presentaron agrietamientos previos a la aparición del agrietamiento diagonal por cortante. La degradación de la rigidez asociada a la carga máxima fue similar conforme la relación de aspecto aumentaba. Esto se debió a la aparición de agrietamientos previos al primer agrietamiento por cortante o flexo-cortante. La degradación de la rigidez a la resistencia última fue similar para diferentes relaciones de aspecto. Esto se debió al grado de daño presentado en los muros.

En la Tabla 5.19 se presenta la degradación de la rigidez con respecto a la rigidez al primer agrietamiento ( $\bar{k}$ ) y con respecto a la rigidez inicial ( $\bar{k}_o$ ). Las celdas sombreadas de color naranja indican el intervalo donde se ubica la resistencia máxima de cada muro.

Tabla 5.19. Degradación de la rigidez al primer agrietamiento y a la a inicial en muros con  $\sigma = 3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

$\bar{\delta}$	$\bar{k}$				$\bar{k}_o$			
	0.71	1.23	1.94	2.64	0.71	1.23	1.94	2.64
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.718	0.345	0.324	0.374
2	0.473	0.496	0.436	0.438	0.851	0.670	0.618	0.648
3	0.610	0.648	0.583	0.569	0.890	0.770	0.718	0.730
4	0.698	0.703	0.659	0.706	0.915	0.806	0.770	0.816
5	0.778	0.750	0.701	---	0.937	0.836	0.798	---
6	---	0.803	0.734	---	---	0.871	0.820	---
7	---	0.842	0.766	---	---	0.896	0.842	---
8	---	0.869	0.797	---	---	0.914	0.863	---
9	---	---	0.833	---	---	---	0.887	---
10	---	---	0.861	---	---	---	0.906	---

Con base en la Tabla 5.19 se observó que, para una misma capacidad de deformación, la degradación de la rigidez con respecto a  $K_{agr}$ , en general, fue similar para diferentes relaciones de aspecto. Esto se debió a que la rigidez se mantuvo en

aumento conforme la relación de aspecto disminuía. Mientras que la degradación de la rigidez con respecto a  $K_o$  no presentó una similitud en los cuatro muros conforme la relación de aspecto aumentaba. Esto se debió a que en el muro M-0.71-3.0-53 se presentaron agrietamientos previos a la aparición del primer agrietamiento por cortante.

En la Tabla 5.20 se presenta la rigidez inicial ( $K_o$ ), la rigidez al primer agrietamiento ( $K_{agr}$ ), la rigidez a la resistencia máxima ( $K_{Vmax}$ ) y la rigidez a la resistencia última ( $K_u$ ) de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ . En la Figura 5.18 y Figura 5.19 se presentan la rigidez residual respecto a la rigidez al primer agrietamiento ( $K_i/K_{agr}$ ) y a la rigidez inicial ( $K_i/K_o$ ), respectivamente. Los marcadores cuadrados de color rojo indican la carga máxima.

Tabla 5.20. Rigidez de los muros con  $\sigma = 3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ .

Muro	$K_o$ (kg/mm)	$K_{agr}$ (kg/mm)	$K_{Vmax}$ (kg/mm)	$K_u$ (kg/mm)
<b>M-0.52-3.0-44</b>	13074.43	11123.62	1599.32	686.45
<b>M-0.71-3.0-44</b>	9203.77	7819.63	1360.51	817.02
<b>M-1.30-3.0-44</b>	4374.05	2143.80	878.42	528.86
<b>M-1.94-3.0-44</b>	2245.30	1113.65	520.39	140.66
<b>M-2.64-3.0-44</b>	1035.87	531.32	223.41	106.41

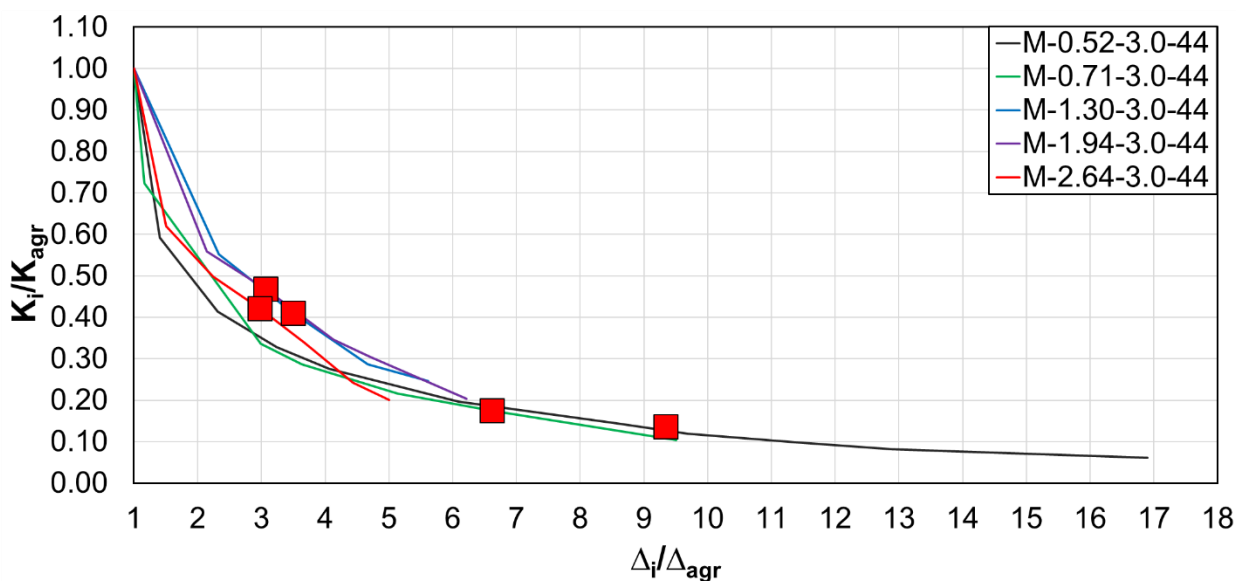


Figura 5.18. Rigidez residual al primer agrietamiento de muros con  $\sigma$  de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ .

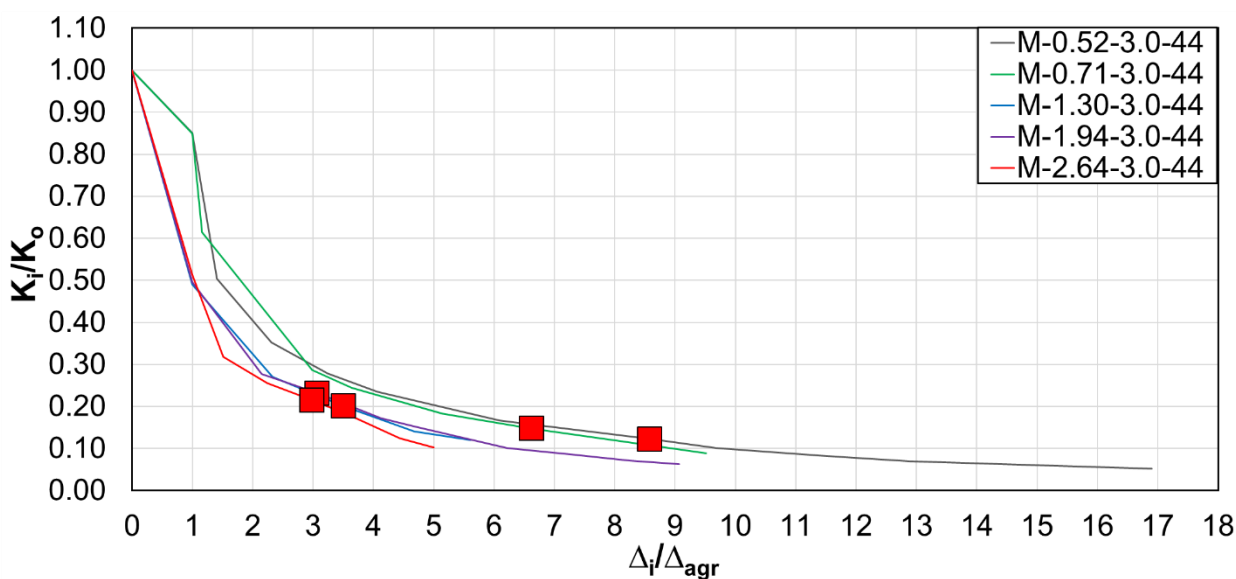


Figura 5.19. Rigidez residual inicial de muros con  $\sigma$  de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ .

Con base en la Tabla 5.20 se observó que la rigidez inicial disminuyó conforme la relación de aspecto aumentaba. Del mismo modo se presenta para la rigidez al primer agrietamiento, a la resistencia máxima y a la resistencia última. Esto se debió

a que la rigidez depende de la inercia del muro. En la Figura 5.18 se observó que en muros donde se presentó el primer agrietamiento por cortante, la rigidez residual fue menor con respecto a los muros donde se presentó el agrietamiento por flexo-cortante. El muro M-1.30-3.0-44 presentó la misma tendencia que los muros agrietados por cortante debido que éste presentó el agrietamiento por cortante posterior al primer agrietamiento por flexo-cortante. La degradación de la rigidez en muros dominados por flexo-cortante fue menor con respecto a los muros dominados por cortante. En general, se observó que conforme la relación de aspecto disminuía, la degradación de la rigidez aumentaba simultáneamente con la capacidad de deformación. En la Figura 5.19 se observó que antes de la aparición al primer agrietamiento, en muros con relación de aspecto menor a 1.30 la pérdida de rigidez resultó ser menor que en muros con relación de aspecto mayor a 1.30. Esto se debió a que en muros dominados por flexo-cortante, se presentaron agrietamientos en los castillos por flexión. Además, se observó que, conforme la relación de aspecto disminuía, la rigidez lateral del muro aumentaba. A partir del primer agrietamiento se observó dos tendencias con respecto al tipo de comportamiento. En muros con comportamiento dominado por cortante, la pérdida de la rigidez fue menor con respecto a muros con comportamiento dominado por flexo-cortante. Esto se debió a que se mantuvo el aumento de la rigidez conforme la relación de aspecto disminuía. Sin embargo, se observó que la rigidez residual disminuyó hasta un 53% conforme se incrementaba la capacidad de deformación de 1 a 2. Esto se debió a que la grieta diagonal atraviesa el panel de mampostería impidiendo la continuidad del material. Por lo tanto, la rigidez del muro disminuyó y se presentó otro tipo de comportamiento en el muro, siendo ahora la fricción entre el material agrietado. A partir de la capacidad de deformación de 2, la degradación de la rigidez fue de tipo exponencial. Se observó que, en muros con menor relación de aspecto, la capacidad de deformación aumentó hasta más de 15 veces del desplazamiento al primer agrietamiento, sin embargo, la rigidez residual fue menor al 10%. Por otra parte, en muros dominados por flexo-cortante se observó que la degradación fue de tipo exponencial a partir del primer ciclo y conforme se incrementaba la capacidad de

deformación. Esto se debió a que, en este tipo de comportamiento, la grieta que atraviesa al panel se presentó en una menor longitud.

En la Tabla 5.21 se presenta la degradación de la rigidez con respecto al primer agrietamiento y la degradación de la rigidez con respecto a la inicial, para muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ . Las celdas sombreadas de color naranja indican el rango donde se ubica la resistencia máxima en cada muro.

Tabla 5.21. Degradación de la rigidez al primer agrietamiento y a la inicial en muros con  $\sigma = 3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ .

$\bar{\delta}$	$\bar{k}$					$\bar{k}_o$				
	0.52	0.71	1.3	1.94	2.64	0.52	0.71	1.3	1.94	2.64
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.149	0.150	0.510	0.504	0.487
2	0.543	0.542	0.392	0.414	0.472	0.611	0.611	0.702	0.709	0.729
3	0.655	0.664	0.543	0.528	0.583	0.706	0.715	0.776	0.766	0.786
4	0.720	0.735	0.651	0.642	0.707	0.762	0.775	0.829	0.823	0.850
5	0.769	0.779	0.729	0.720	0.800	0.803	0.813	0.867	0.861	0.897
6	0.801	0.811	---	---	---	0.831	0.839	---	---	---
7	0.827	0.838	---	---	---	0.853	0.863	---	---	---
8	0.847	0.865	---	---	---	0.870	0.886	---	---	---
9	0.866	0.886	---	---	---	0.886	0.904	---	---	---
10	0.885	---	---	---	---	0.902	---	---	---	---
11	0.897	---	---	---	---	0.912	---	---	---	---
12	0.909	---	---	---	---	0.922	---	---	---	---
13	0.919	---	---	---	---	0.931	---	---	---	---
14	0.925	---	---	---	---	0.936	---	---	---	---
15	0.930	---	---	---	---	0.941	---	---	---	---

Con base a la Tabla 5.21 se observó que, para una misma capacidad de deformación, la degradación de la rigidez, en general, fue similar conforme la relación de aspecto aumentaba. Mientras que la degradación de la rigidez inicial no sucedió del mismo modo. Se observó que para una capacidad de deformación entre 1 y 2, conforme la relación de aspecto aumentaba, la degradación de la rigidez inicial fue mayor. Para capacidades de deformación mayor a 2, en general, la degradación de la rigidez inicial fue similar conforme la relación de aspecto aumentaba.



En la Tabla 5.22 se presenta la rigidez inicial ( $K_o$ ), la rigidez al primer agrietamiento ( $K_{agr}$ ), la rigidez a la resistencia máxima ( $K_{Vmax}$ ) y la rigidez a la resistencia última ( $K_u$ ) de los muros con  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup> y diferentes relaciones de aspecto. En la Figura 5.20 se presenta la rigidez residual al primer agrietamiento de muros con  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>, y diferentes relaciones de aspecto. En la Figura 5.21 se presenta la rigidez residual inicial para los mismos muros.

Tabla 5.22. Rigidez de los muros con  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>, y diferentes relaciones de aspecto.

Muro	$K_o$ (kg/mm)	$K_{agr}$ (kg/mm)	$K_{Vmax}$ (kg/mm)	$K_u$ (kg/mm)
<b>M-0.71-3.0-44</b>	9203.77	7819.63	1360.51	817.02
<b>M-0.71-3.0-53</b>	8789.32	2480.86	794.26	533.51
<b>M-1.94-3.0-44</b>	2245.30	1113.65	520.39	140.66
<b>M-1.94-3.0-53</b>	1904.52	1288.18	311.84	156.98
<b>M-2.64-3.0-44</b>	1035.87	531.32	223.41	106.41
<b>M-2.64-3.0-53</b>	672.10	420.92	169.17	109.63

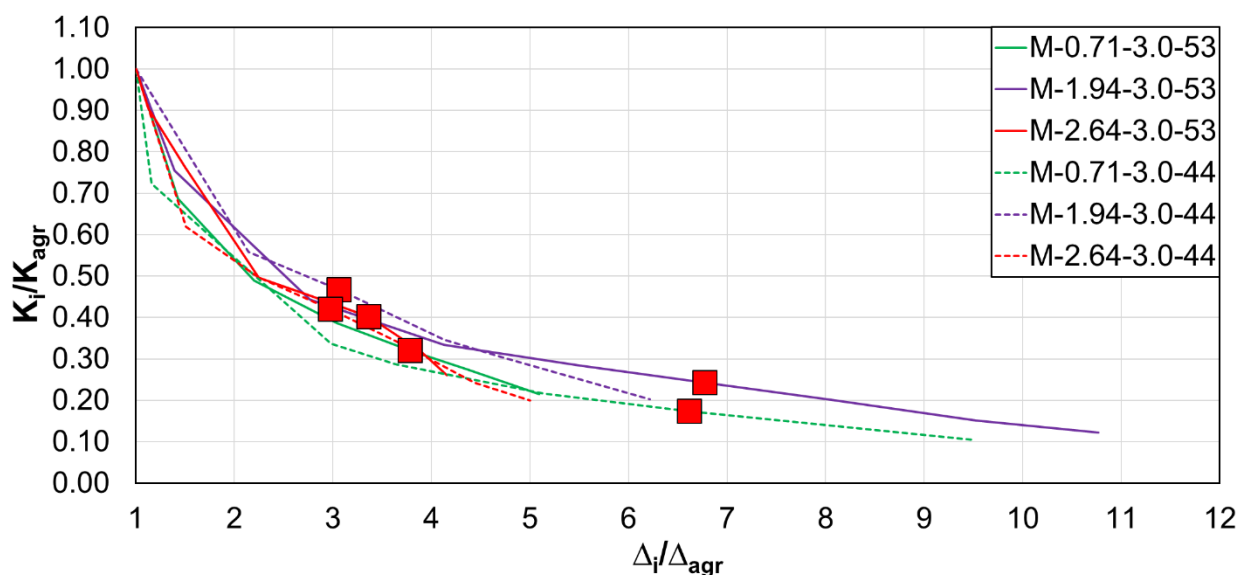


Figura 5.20. Rigidez residual al primer agrietamiento de los muros con  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup> y diferentes relaciones de aspecto.

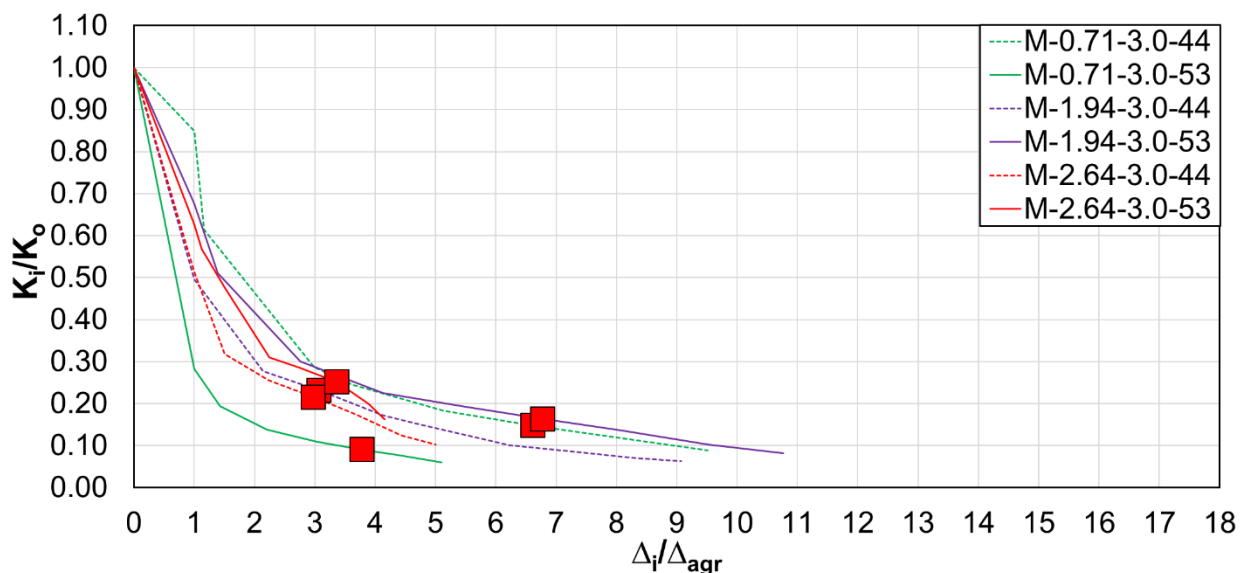


Figura 5.21. Rigidez residual inicial de muros con  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup> y diferentes relaciones de aspecto.

En la Tabla 5.22 se observó que la rigidez inicial, en general, fue similar para muros con igual relación de aspecto. Esto se debió a que la resistencia del concreto en muros con  $f_{CCA}$  de 44.13 fueron mayores con respecto a la resistencia del concreto en muros con  $f_{CCA}$  de 53.88. Por lo tanto, el producto del módulo de elasticidad del concreto por la sección transformada fue similar para ambos casos. La rigidez al primer agrietamiento, en general, fue similar a excepción del muro con relación de aspecto de 0.71. Esto se debió a que el muro con  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup> presentó agrietamientos previos al primer agrietamiento diagonal por cortante, lo que implicó que la rigidez de este muro tuvo una mayor degradación con respecto al muro con  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup>. La rigidez a la resistencia máxima y a la resistencia última, en general, fueron similares para muros con igual relación de aspecto. En la Figura 5.20 se observó que la rigidez residual al agrietamiento para todos los muros presentó una tendencia exponencial. Se observó que, a pesar de la diferencia de resistencias de CCA la pérdida de la rigidez, en general, fue similar. Por otra parte, En muros con relación de aspecto de 0.71, la degradación de la rigidez residual asociado a la carga máxima disminuyó conforme la resistencia a la compresión del CCA incrementaba. Esto se debió principalmente por la relación que existe entre el

panel y la relación de aspecto, es decir, a menor relación de aspecto mayor es el área de panel presente en el muro. Por lo tanto, el panel de mampostería aporta una mayor rigidez y conforme se incrementa la resistencia del CCA, mayor será la concentración de esfuerzos. En muros con relación de aspecto de 1.94 y 2.64, la degradación de la rigidez asociada a la carga máxima aumentó conforme la resistencia a la compresión del CCA incrementaba. Esto es debido a la relación modular del concreto y del  $f_{CCA}$ . En la Figura 5.21 se observó que, en general, que la degradación de la rigidez disminuyó conforme  $f_{CCA}$  aumentaba. Sin embargo, la degradación de la rigidez del muro M0.71-3.0-53 fue mayor con respecto a la degradación de la rigidez del muro M-0.71-3.0-44, esto se debió a que en el primer muro se presentó agrietamientos en el panel antes de la aparición del primer agrietamiento diagonal por cortante. La degradación de la rigidez asociada a la resistencia máxima no presentó tendencia alguna, esto se debió a los agrietamientos previos a la aparición del primer agrietamiento que se presentaron en algunos muros. Mientras que la degradación de la rigidez a la resistencia última, en general, disminuyó conforme  $f_{CCA}$  aumentaba, esto se debió al nivel de daño presentado en el muro, a la resistencia a compresión del concreto y a la resistencia del CCA.

En la Tabla 5.23 se presenta la degradación de la rigidez con respecto al primer agrietamiento y la degradación de la rigidez con respecto a la inicial. En muros con  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>, a diferentes relaciones de aspecto. Las celdas sombreadas de color naranja indican el rango donde se ubica la resistencia máxima de cada muro.

Tabla 5.23. Degradación de la rigidez al primer agrietamiento y a la inicial en muros con  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>, a diferentes relaciones de aspecto.

$\bar{\delta}$	$\bar{k}$						$\bar{k}_o$					
	H/L=0.71		H/L=1.94		H/L=2.64		H/L=0.71		H/L=1.94		H/L=2.64	
	44.13	53.88	44.13	53.88	44.13	53.88	44.13	53.88	44.13	53.88	44.13	53.88
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.71	0.44	0.37	0.51	0.47
2	0.54	0.47	0.41	0.44	0.47	0.44	0.74	0.85	0.67	0.65	0.74	0.70
3	0.66	0.61	0.53	0.58	0.58	0.57	0.81	0.89	0.73	0.74	0.80	0.74
4	0.74	0.70	0.64	0.66	0.71	0.71	0.85	0.91	0.80	0.79	0.86	0.82
5	0.78	0.78	0.72	0.70	0.80	---	0.88	0.94	0.84	0.81	0.90	---
6	0.81	---	---	0.73	---	---	0.89	---	---	0.83	---	---
7	0.84	---	---	0.77	---	---	0.91	---	---	0.85	---	---
8	0.87	---	---	0.80	---	---	0.92	---	---	0.87	---	---
9	0.89	---	---	0.83	---	---	0.94	---	---	0.90	---	---
10	---	---	---	0.86	---	---	---	---	---	0.91	---	---

Con base a la Tabla 5.23, se observó que, para una cierta capacidad de deformación, la degradación de la rigidez al primer agrietamiento, en general, fue similar conforme la aumenta la resistencia del CCA, así como aumentaba la relación de aspecto. Por otra parte, la degradación de la rigidez inicial varió. En las primeras dos capacidades de deformación se observaron diferencias en la degradación de rigidez inicial. Esto se debió al nivel de daño presentado antes de la aparición de su correspondiente primer agrietamiento por cortante o flexo-cortante. Mientras que, a partir de la capacidad de deformación de 3, la degradación de rigidez, en general, fue similar conforme aumentaban la resistencia a compresión del CCA y la relación de aspecto del muro.

## 5.5. Energía disipada.

La energía disipada se calculó como el área contenida en un lazo histerético de la curva carga lateral-desplazamiento. La energía disipada acumulada es la suma de las áreas contenidas en los lazos histeréticos hasta el ciclo (n) estudiado y se correlaciona con el nivel de daño en los muros (Pérez et al. 2011).

En la Figura 5.22 se presentan las curvas de energía disipada acumulada en muros con relación de aspecto de 1.23 y resistencia a la compresión del CCA de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>. Los marcadores en forma de rombo de color azul indican el primer agrietamiento diagonal por cortante. Los marcadores cuadrados de color rojo indican la resistencia máxima.

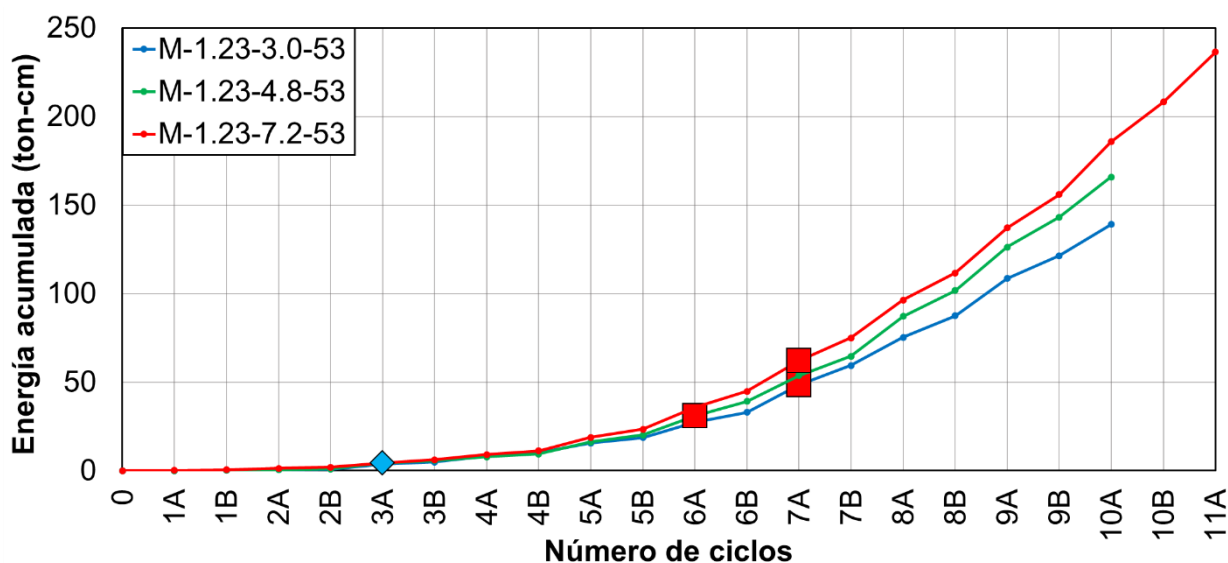


Figura 5.22. Energía disipada acumulada en muros con H/L de 1.23 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

Con base en la Figura 5.22 se observó que en los primeros ciclos la energía disipada fue casi nula hasta la aparición del primer agrietamiento. La tendencia en la cantidad de energía disipada fue similar en los tres muros hasta en el ciclo 4B. A partir de ese ciclo, la cantidad de energía disipada aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba. La cantidad de energía disipada acumulada total aumentó conforme

el esfuerzo axial incrementa. Esto se debió a que el esfuerzo axial contribuye en la restricción del desplazamiento lateral.

En la Figura 5.23 se presentan las curvas de energía disipada acumulada en muros con relación de aspecto de 2.64 y resistencia a la compresión del CCA de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ . Los marcadores triangulares de color amarillo indican el primer agrietamiento por flexo-cortante y los marcadores cuadrados de color rojo indican la resistencia máxima.

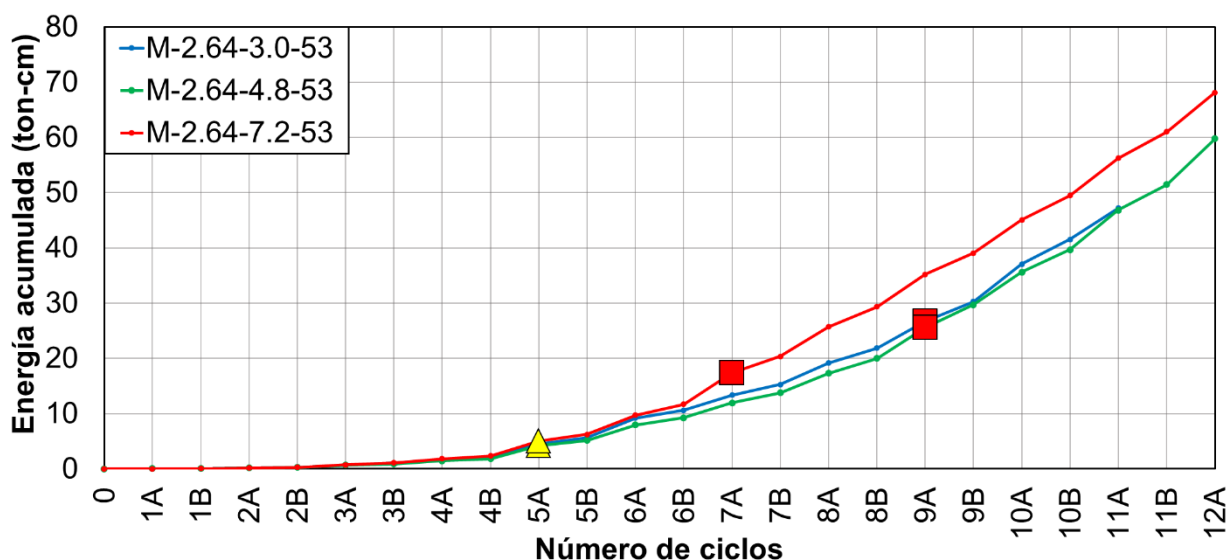


Figura 5.23. Energía disipada acumulada en muros con H/L de 2.64 y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

Con base en la Figura 5.23 se observó que en los primeros ciclos la energía disipada fue cero. A partir del ciclo 3A se presentó una tendencia en el incremento de energía disipada acumulada en los tres muros. Esta tendencia se mantuvo hasta la aparición del primer agrietamiento en el ciclo 5A. A partir de ese ciclo, se presentó una variación de la energía disipada en cada muro. Se observó que, la tendencia de la energía disipada de los muros M-2.64-3.0-53 y M-2.64-4.8-53 fue similar. Mientras que la energía disipada del muro M-2.64-7.2-53 fue mayor. Lo anterior pudo estar asociado a la presencia del puntal de compresión en este último muro, lo que implicó que el muro mantuviera una mayor resistencia y capacidad de disipar más energía.

La cantidad de energía disipada acumulada total, en general, aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba.

En la Figura 5.24 se presentan las curvas de energía disipada acumulada en muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y resistencia a la compresión del CCA de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ . Los marcadores triangulares de color amarillo indican el primer agrietamiento por flexo-cortante, los marcadores en forma de rombo de color azul indican el primer agrietamiento por cortante y los marcadores cuadrados de color rojo indican la resistencia máxima.

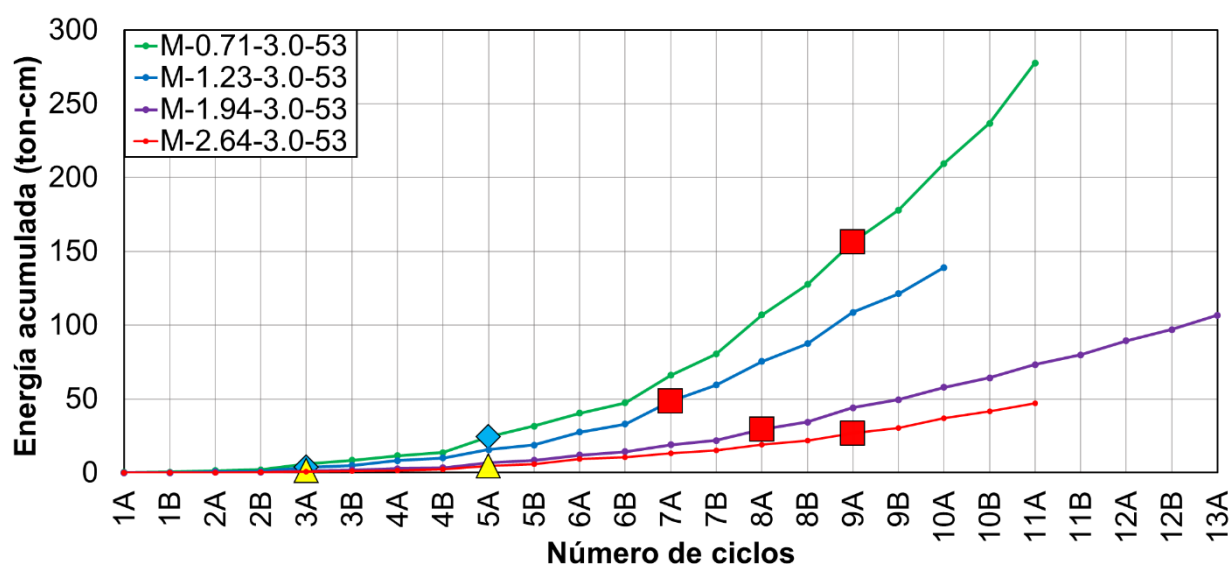


Figura 5.24. Energía disipada acumulada en muros con  $\sigma$  de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

Con base en la Figura 5.24 se observó que los primeros ciclos, la energía disipada fue cero. A partir del ciclo 3A se presentó un incremento de la energía disipada en muros dominados por cortante. Por lo general, dicho incremento de energía disipada se debió a la aparición del primer agrietamiento en el muro. Sin embargo, en el muro M-0.71-3.0-53 el primer agrietamiento por cortante se presentó posterior al incremento de la energía disipada. Esto se debió a que antes de la aparición del primer agrietamiento por cortante, se presentaron agrietamientos en el panel de mampostería. Por otra parte, a partir del ciclo 5A se presentó un incremento de

energía disipada en muros dominados por flexo-cortante. Se observó que en el muro M-1.94-3.0-53, el primer agrietamiento se presentó previo al incremento de energía disipada. Mientras que en el muro M-2.64-3.0-53 se presentó en el momento del incremento de la energía disipada. Esto se debió a que en el muro M-1.94-3.0-53, el primer agrietamiento se presentó sin la aparición de agrietamientos previos en el muro. Mientras que en el muro M-2.64-3.0-53 se presentaron agrietamientos en los castillos por flexión previo a la aparición del primer agrietamiento. La energía disipada entre los primeros agrietamientos de ambos muros, en general, fue nulo. Esto es debido a la rigidez de estos muros fue menor a la rigidez de los muros con menor relación de aspecto. Se observó que la energía disipada total aumentó conforme la relación de aspecto disminuía.

En la Figura 5.25 se presenta las curvas de energía disipada acumulada en muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y resistencia a la compresión del CCA de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ . Los marcadores triangulares de color amarillo indican el primer agrietamiento por flexo-cortante, los marcadores en forma de rombo de color azul indican el primer agrietamiento por cortante y los marcadores cuadrados de color rojo indican la resistencia máxima.

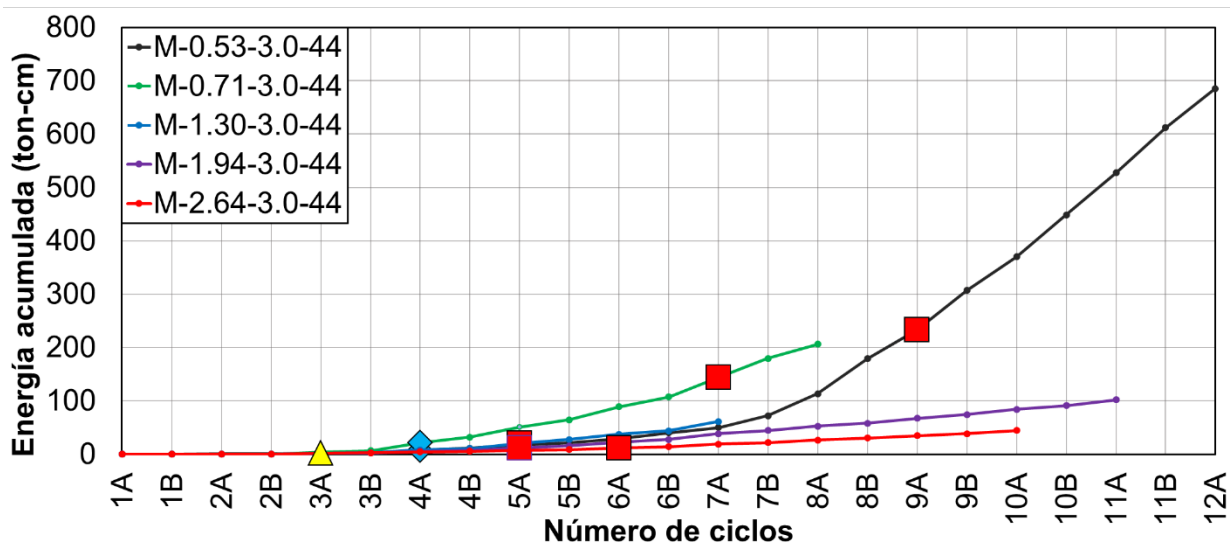


Figura 5.25. Energía disipada acumulada en muros con  $\sigma$  de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ .



Con base en la Figura 5.25, se observó que, en los primeros ciclos la energía disipada fue cero. En muros dominados por cortante, a partir del ciclo 4A se presentó un incremento de energía disipada. En ese ciclo se presentó el primer agrietamiento diagonal por cortante. Se observó que, en los muros dominados por cortante, la energía disipada del muro M-0.71-3.0-44 fue mayor con respecto a la energía disipada del muro M-0.52-3.0-44 entre los ciclos 4A a 8A. Esto se debió a que en este último muro se presentaron agrietamientos previos a la aparición del primer agrietamiento por cortante. Entre esos agrietamientos se presentó una grieta vertical alrededor de la longitud media del muro, provocando que el panel del muro se dividiera en dos partes. Por lo tanto, dicha grieta cambió el comportamiento del muro. Sin embargo, a partir del ciclo 8A, el muro M-0.52-3.0-44 presentó un incremento de energía disipada siendo incluso mayor a la energía disipada acumulada del muro M-0.71-3.0-44. Por otra parte, en muros dominados por flexo-cortante, es a partir del ciclo 5A donde se presentó un incremento de la energía disipada posterior al primer agrietamiento. Esto se debió a que la energía liberada al momento del primer agrietamiento resultó ser menor con respecto a la energía liberada en muros donde fueron sujetos al primer agrietamiento por cortante. Esto se debió a que, en muros dominados por cortante la longitud de la grieta resultó ser mayor que en muros dominados por flexo-cortante. La energía disipada total, en general, aumentó conforme la relación de aspecto disminuía.

En la Figura 5.26 se presenta las curvas de energía disipada acumulada en muros con  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>, a diferentes relaciones de aspecto. Los marcadores triangulares de color amarillo indican el primer agrietamiento por flexo-cortante, los marcadores en forma de rombo de color azul indican el primer agrietamiento por cortante y los marcadores cuadrados de color rojo indican la resistencia máxima.

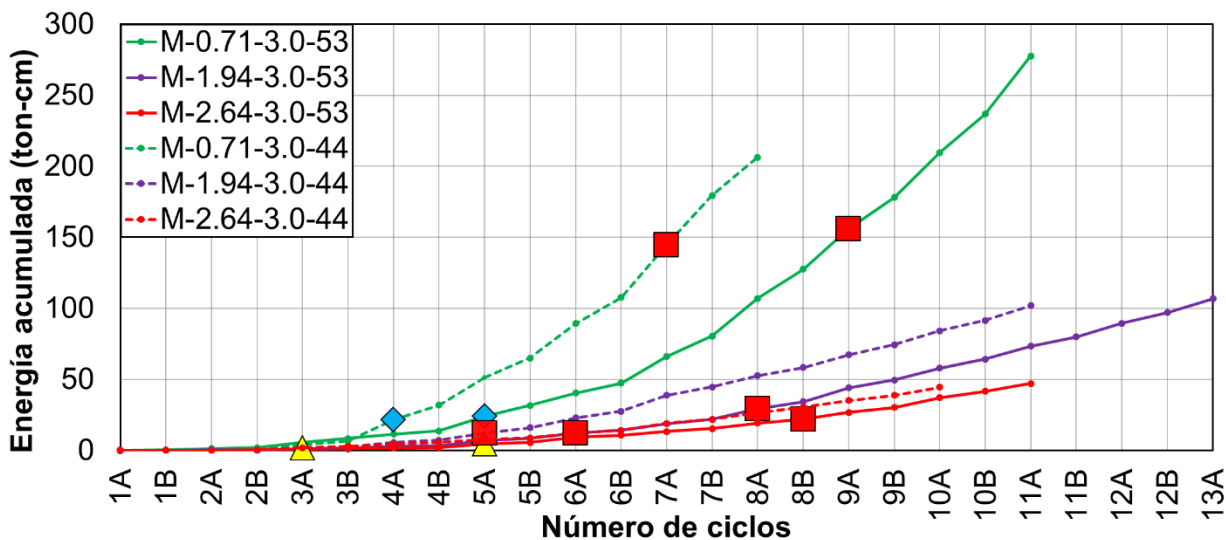


Figura 5.26. Disipación de energía acumulada en muros con  $\sigma$  de 3 kg/cm<sup>2</sup>.

Con base en la Figura 5.26 se observó que, en los primeros ciclos la energía disipada fue cero. En muros dominados por cortante, a partir del ciclo 3A se presentó un incremento de energía disipada. Este incremento se presentó antes de la aparición del primer agrietamiento, esto se debió a que en estos muros se presentaron agrietamientos previos a ese evento. Por otra parte, en muros dominados por flexo-cortante, en general, a partir del ciclo 5A se presentó un notable incremento de energía disipada. Sin embargo, el primer agrietamiento en los muros se presentó en el ciclo 3A. A excepción del muro M-2.64-3.0-53 donde el primer agrietamiento se presentó en el ciclo 5A. Entre los ciclos 3A a 5A no se presentó un notable incremento de energía disipada. Esto se debió a la poca rigidez que estos muros aportan con respecto a los muros con menor relación de aspecto. Se observó que, en muros con mayor resistencia de CCA, la energía disipada resultó ser menor que en muros con menor resistencia de CCA conforme se incrementaban los ciclos. Esto se debió a que el primer agrietamiento se presentó antes en muros con menor resistencia de CCA. Sin embargo, la energía disipada total aumentó conforme la resistencia del CCA aumentaba. Esto se debió a que la resistencia del CCA influye en la resistencia lateral del muro. Conforme aumenta la resistencia del CCA, mayor es la resistencia lateral y mayor será el número de ciclos hasta alcanzar la

degradación de la resistencia máxima. Para nuestro estudio, la degradación fue alrededor del 20% de la resistencia máxima.

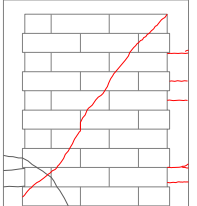
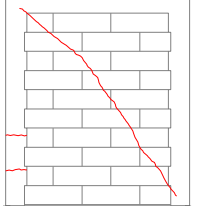
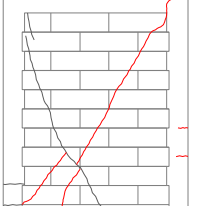
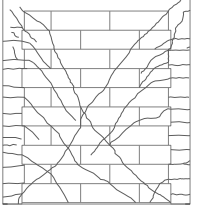
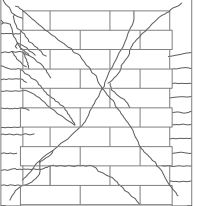
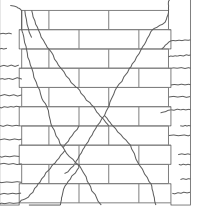
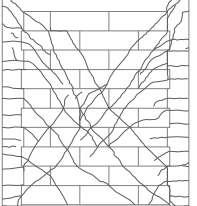
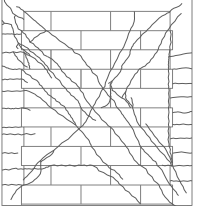
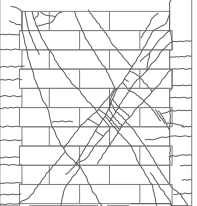
## 5.6. Evolución del daño en muros.

El grado de daño en la mampostería está asociado al deterioro del muro debido al agrietamiento que se presenta cada vez que es sometido a ciclos de carga. El daño en una estructura se va acumulando en cada evento sísmico sucesivo y la capacidad del sistema disminuye seriamente (Tena et al. 2009). El daño de los muros se puede evaluar en términos de la distorsión, de la capacidad de deformación, de la degradación de la resistencia, de la degradación de la rigidez y del agrietamiento. Por otra parte, en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTCDS) (GCM 2017b) la mampostería se limita a una distorsión permisible. Dicha distorsión se encuentra en términos del tipo de mampostería y de su uso.

En este trabajo la evolución del daño se discute en términos de los eventos principales discutidos en los capítulos anteriores, de la distorsión permisible indicado en el reglamento y de la capacidad de deformación. En cada uno de estos parámetros se presenta la degradación de la resistencia y de la rigidez, así como los patrones de agrietamiento. Con el fin de evaluar el nivel de daño y de ser necesario, plantear un nuevo límite de daño de acuerdo con la capacidad de deformación.

En la Tabla 5.24 se presenta el resumen del comportamiento de los muros con relación de aspecto de 1.23 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup> con respecto a los eventos principales. En cada muro se presenta el patrón de agrietamiento, la resistencia normalizada ( $\bar{R}$ ), la capacidad de deformación ( $\bar{\delta}$ ) y la degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ). La resistencia normalizada se calculó como la relación de la resistencia instantánea entre la resistencia al primer agrietamiento. La capacidad de deformación se calculó como la relación del desplazamiento instantáneo entre el desplazamiento al primer agrietamiento.

Tabla 5.24. Nivel de daño en muros con H/L de 1.23 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

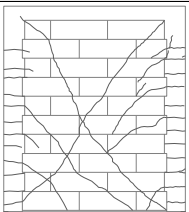
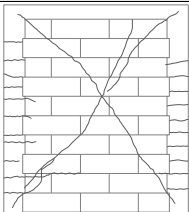
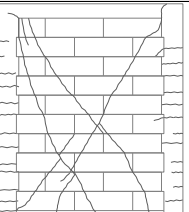
Muro	M-1.23-3.0-53	M-1.23-4.8-53	M-1.23-7.2-53																	
Evento																				
Vagr																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.00	1.00	0.00	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.00	1.00	0.00	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.00	1.00
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																		
1.00	1.00	0.00																		
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																		
1.00	1.00	0.00																		
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																		
1.00	1.00	0.00																		
Vmax																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.26</td> <td>5.15</td> <td>0.76</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.26	5.15	0.76	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.54</td> <td>6.19</td> <td>0.75</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.54	6.19	0.75	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.98</td> <td>8.33</td> <td>0.76</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.98	8.33
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																		
1.26	5.15	0.76																		
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																		
1.54	6.19	0.75																		
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																		
1.98	8.33	0.76																		
Vu																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.01</td> <td>8.65</td> <td>0.88</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.01	8.65	0.88	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.23</td> <td>14.11</td> <td>0.91</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.23	14.11	0.91	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.59</td> <td>15.92</td> <td>0.90</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.59	15.92
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																		
1.01	8.65	0.88																		
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																		
1.23	14.11	0.91																		
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																		
1.59	15.92	0.90																		

Con base en la Tabla 5.24, se observó que la resistencia máxima normalizada se presenta a diferentes capacidades de deformación. La capacidad de deformación aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba, dicha capacidad de deformación fue entre 5.1 y 8.33. La degradación de la rigidez fue similar en los muros, siendo una degradación del 76%. El patrón de agrietamiento en los muros fue similar. En el panel de mampostería se presentaron múltiples agrietamientos diagonales. En los castillos se presentaron agrietamientos horizontales con respecto en la altura del castillo y agrietamientos en las esquinas superiores. Por otra parte, en la resistencia última normalizada de los muros se presentó a diferentes capacidades de deformación. La capacidad de deformación aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba,

dicha capacidad de deformación fue entre 8.65 y 15.92. La degradación de la rigidez fue similar en los muros, siendo una degradación del 90%. El patrón de agrietamiento en los muros fue similar. En el panel de mampostería se presentaron múltiples agrietamientos diagonales, pero con un mayor daño al centro. En los castillos se presentaron una mayor cantidad de agrietamientos en las esquinas superiores.

Con base en NTCDS, en la sección 4.2 se especifica que, para muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas, la distorsión permisible ( $\gamma_{max}$ ) es de 0.005. Para una altura de muros constante ( $H=240$  cm), el desplazamiento permisible ( $\Delta_p$ ) es de 1.2 cm. Relacionando el desplazamiento permisible con respecto al desplazamiento al primer agrietamiento de cada muro de CCA, se obtiene la capacidad de deformación correspondiente ( $\bar{\delta}$ ). Con base en este valor, se obtiene la resistencia normalizada ( $\bar{R}$ ) y la degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ) de los muros. En la Tabla 5.25 se presenta la capacidad de deformación ( $\bar{\delta}$ ), resistencia ( $\bar{R}$ ) y degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ) de los muros con relación de aspecto de 1.23 con respecto a  $\Delta_p$ .

Tabla 5.25. Capacidad de deformación, resistencia y degradación de la rigidez de muros con  $H/L = 1.23$  con respecto a  $\Delta_p$ .

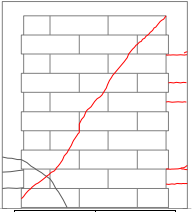
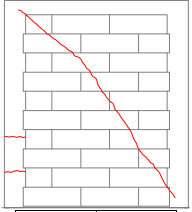
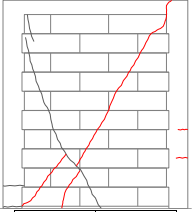
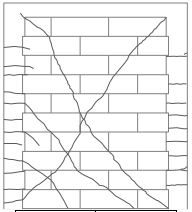
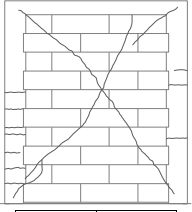
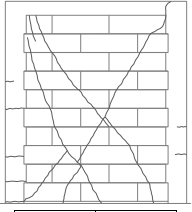
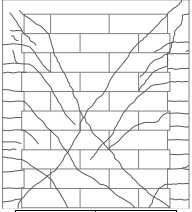
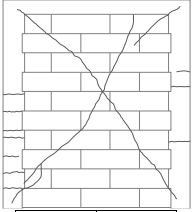
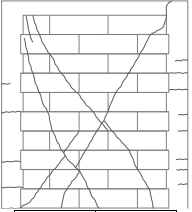
<b>M-1.23-3.0-53</b>			<b>M-1.23-4.8-53</b>			<b>M-1.23-7.2-53</b>		
								
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$
1.12	3.53	0.68	1.45	5.07	0.71	1.72	5.72	0.70

Con base en la Tabla 5.25, se observó que la capacidad de deformación aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba, dicha capacidad fue entre 3.53 y 5.72. La degradación de la rigidez en los tres muros fue similar, siendo una degradación del

70% en promedio. El nivel de daño en los tres muros fue similar, en el panel de mampostería se presentaron agrietamientos diagonales y en los castillos agrietamientos horizontales con respecto a su altura. La resistencia normalizada aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba, dicha resistencia fue entre 1.12 y 1.72. Sin embargo, se observó que, la resistencia normalizada de cada muro con respecto a la distorsión permisible fue menor con respecto a la resistencia máxima normalizada (Tabla 5.24).

En la Tabla 5.26 se presenta la evolución del daño de los muros con relación de aspecto de 1.23 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>. En cada muro se presentan el patrón de agrietamiento, la resistencia normalizada ( $\bar{R}$ ) y la degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ) asociada a la capacidad de deformación ( $\bar{\delta}$ ).

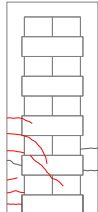

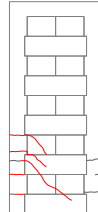

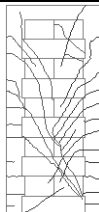

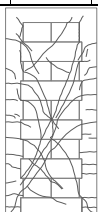
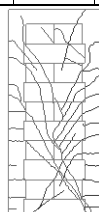
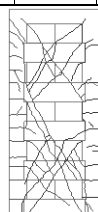
Tabla 5.26. Evolución del daño de muros con H/L de 1.23 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

$\bar{\delta}$	M-1.23-3.0-53	M-1.23-4.8-53	M-1.23-7.2-53												
1.00	 <table border="1"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00	 <table border="1"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00	 <table border="1"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.00	0.00														
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.00	0.00														
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.00	0.00														
2.00	 <table border="1"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.50</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.50	 <table border="1"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.06</td> <td>0.47</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.06	0.47	 <table border="1"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.13</td> <td>0.44</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.13	0.44
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.00	0.50														
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.06	0.47														
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.13	0.44														
3.00	 <table border="1"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.05</td> <td>0.65</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.05	0.65	 <table border="1"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.20</td> <td>0.60</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.20	0.60	 <table border="1"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.31</td> <td>0.56</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.31	0.56
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.05	0.65														
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.20	0.60														
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.31	0.56														

Con base en la Tabla 5.26 se observó que, para una capacidad de deformación de 2, la degradación de la rigidez en los tres muros fue similar. Siendo una degradación entre 44% y 50%. En general, el patrón de agrietamiento de los tres muros consistió en un par de agrietamientos diagonales en el panel de mampostería. En los castillos se observaron agrietamientos horizontales con respecto a su altura. Dichos agrietamientos disminuyeron conforme el esfuerzo axial aumentaba. La resistencia normalizada fue similar para diferentes esfuerzos axiales, dicha resistencia está entre el 1.0 y el 1.13. Para una capacidad de deformación de 3, la degradación de la rigidez en los tres muros fue similar. Siendo una degradación entre 56% y 65%. El patrón de agrietamiento varió con respecto al esfuerzo axial. Se observó que conforme disminuye el esfuerzo axial, mayor fue la presencia de agrietamientos diagonales en el panel. La resistencia normalizada varió con respecto al esfuerzo axial. Se observó que conforme aumenta el esfuerzo axial, mayor fue la resistencia normalizada. Dicha resistencia fue entre 1.05 y 1.31.

En la Tabla 5.27 se presenta el resumen del comportamiento de los muros con relación de aspecto de 2.64 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup> con respecto a los eventos principales. En cada muro se presenta su respectivo patrón de agrietamiento, resistencia normalizada ( $\bar{R}$ ), capacidad de deformación ( $\bar{\delta}$ ) y degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ).

Tabla 5.27. Nivel de daño en muros con relación de aspecto de 2.64 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

Muro	M-2.64-3.0-53	M-2.64-4.8-53	M-2.64-7.2-53
Evento			
$V_{agr}$			
	$\bar{R}$ $\bar{\delta}$ $\bar{k}$	$\bar{R}$ $\bar{\delta}$ $\bar{k}$	$\bar{R}$ $\bar{\delta}$ $\bar{k}$
	1.00   1.00   0.00	1.00   1.00   0.00	1.00   1.00   0.00
$V_{max}$			
	$\bar{R}$ $\bar{\delta}$ $\bar{k}$	$\bar{R}$ $\bar{\delta}$ $\bar{k}$	$\bar{R}$ $\bar{\delta}$ $\bar{k}$
	1.35   3.37   0.60	1.31   3.54   0.63	1.20   2.17   0.45
$V_u$			
	$\bar{R}$ $\bar{\delta}$ $\bar{k}$	$\bar{R}$ $\bar{\delta}$ $\bar{k}$	$\bar{R}$ $\bar{\delta}$ $\bar{k}$
	1.08   4.16   0.74	1.05   4.70   0.78	0.96   4.83   0.80

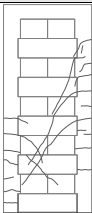

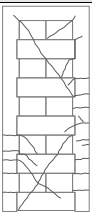
Con base en la Tabla 5.27 se observó que, la resistencia máxima normalizada se presentó a una capacidad de deformación similar, siendo entre 3.37 y 3.54. A excepción del muro M-2.64-7.2-3.0 donde la capacidad de deformación fue del 2.17. Se observó que la degradación de la rigidez fue similar, siendo entre 60% y el 63%, a excepción del muro M-2.64-7.2-3.0 donde la degradación de la rigidez fue del 45%. El patrón de agrietamiento fue similar en los muros, en el panel de mampostería se observaron múltiples agrietamientos diagonales en el panel. En los castillos se observaron agrietamientos horizontales con respecto a su altura y agrietamientos diagonales en las esquinas superiores. En cuanto a la resistencia última normalizada



se observó que la capacidad de deformación aumentó conforme el esfuerzo axial incrementaba. La degradación de la rigidez fue similar, siendo entre el 74% y 80%. El patrón de agrietamiento fue similar. Se observaron múltiples agrietamientos diagonales en el panel con una mayor concentración de daño al centro.

Con base a NTCDS y siendo una altura constante ( $H = 240$  cm), el desplazamiento permisible ( $\Delta_p$ ) es de 1.2 cm. Relacionando el desplazamiento permisible con respecto al desplazamiento al primer agrietamiento de cada muro de CCA, se obtiene la capacidad de deformación correspondiente ( $\bar{\delta}$ ). En la Tabla 5.28 se presenta la capacidad de deformación ( $\bar{\delta}$ ), resistencia normalizada ( $\bar{R}$ ) y degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ) de los muros con relación de aspecto de 2.64 con respecto a  $\Delta_p$ .

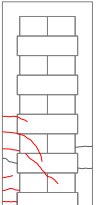

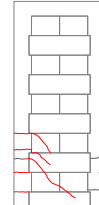
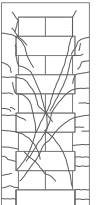
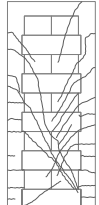

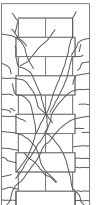
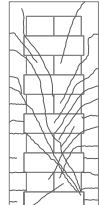

Tabla 5.28. Capacidad de deformación, resistencia y degradación de la rigidez de muros con  $H/L = 2.64$  con respecto a  $\Delta_p$ .

M-2.64-3.0-53			M-2.64-4.8-53			M-2.64-7.2-53		
								
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$
1.05	1.39	0.17	1.05	1.44	0.20	1.08	1.43	0.18

Con base a la Tabla 5.28, se observó que la capacidad de deformación para los tres muros, en general, fue similar. Siendo entre el 1.39 y el 1.44. La degradación de la rigidez en los tres muros fue similar, siendo entre el 17% y el 18%. El patrón de agrietamiento en los tres muros, en general, fue similar. Se observaron agrietamientos diagonales al centro del panel y agrietamientos en los castillos cerca de la base de la cimentación. Se observó que la resistencia en los tres muros fue similar, siendo entre el 1.05 y el 1.08. Sin embargo, se observó que, la resistencia normalizada de cada muro con respecto a la distorsión permisible fue menor con respecto a la resistencia máxima normalizada (Tabla 5.27).

En la Tabla 5.29 se presenta la evolución del daño de los muros con relación de aspecto de 2.64 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>. En cada muro se presentan el patrón de agrietamiento, resistencia normalizada ( $\bar{R}$ ) y degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ) asociado a la capacidad de deformación ( $\bar{\delta}$ ).

Tabla 5.29. Evolución del daño de muros con H/L de 2.64 y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

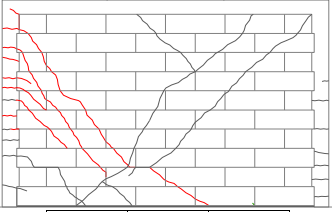
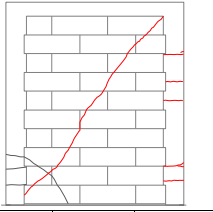
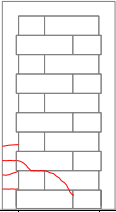
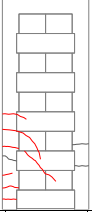
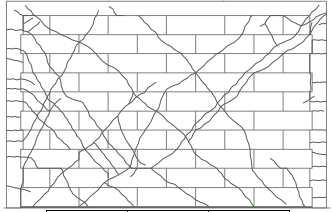
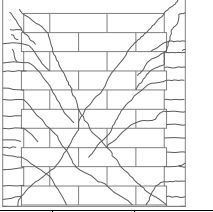

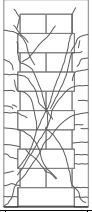
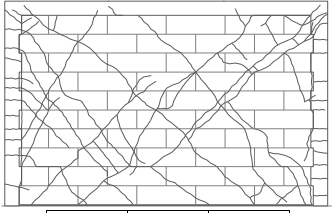
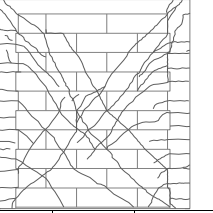

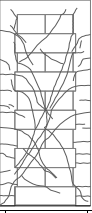
$\bar{\delta}$	M-2.64-3.0-53	M-2.64-4.8-53	M-2.64-7.2-53												
1.00	 <table border="1" data-bbox="511 779 673 856"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00	 <table border="1" data-bbox="787 779 950 856"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00	 <table border="1" data-bbox="1063 779 1226 856"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.00	0.00														
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.00	0.00														
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.00	0.00														
2.00	 <table border="1" data-bbox="511 1073 673 1150"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.12</td> <td>0.44</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.12	0.44	 <table border="1" data-bbox="787 1073 950 1150"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.11</td> <td>0.45</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.11	0.45	 <table border="1" data-bbox="1063 1073 1226 1150"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.18</td> <td>0.41</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.18	0.41
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.12	0.44														
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.11	0.45														
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.18	0.41														
3.00	 <table border="1" data-bbox="511 1367 673 1444"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.29</td> <td>0.57</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.29	0.57	 <table border="1" data-bbox="787 1367 950 1444"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.26</td> <td>0.58</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.26	0.58	 <table border="1" data-bbox="1063 1367 1226 1444"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.18</td> <td>0.60</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.18	0.60
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.29	0.57														
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.26	0.58														
$\bar{R}$	$\bar{k}$														
1.18	0.60														

Con base en la Tabla 5.29 se observó que, para una capacidad de deformación de 2, la degradación de la rigidez en los tres muros fue similar. Siendo una degradación entre 41% y 45%. La resistencia normalizada en los muros fue similar, siendo entre el 1.12 y el 1.18. El patrón de agrietamiento de los tres muros, en general, fue similar. Se observaron agrietamientos diagonales en el panel, con un mayor daño al centro del panel dado por la geometría del muro. También se presentaron

agrietamientos en los castillos y se observó que conforme aumenta el esfuerzo axial, menor fue la presencia de agrietamientos. Para una capacidad de deformación de 3, la degradación de la rigidez en los muros fue similar. Siendo una degradación entre 57% y 60%. La resistencia normalizada en los muros fue similar, siendo entre 1.26 y 1.29, a excepción del muro M-2.64-7.2-53 donde la resistencia fue de 1.18. El patrón de agrietamiento en los tres muros fue similar. Se observó una mayor cantidad de agrietamientos diagonales en el panel, así como agrietamientos horizontales en los castillos.

En la Tabla 5.30 se presenta el resumen del comportamiento de los muros con esfuerzo axial de  $3.0 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$  con respecto a los eventos principales. En cada muro se presenta su respectivo patrón de agrietamiento, resistencia normalizada ( $\bar{R}$ ), capacidad de deformación ( $\bar{\delta}$ ) y degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ).

Tabla 5.30. Nivel de daño en muros con  $\sigma$  de 3 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

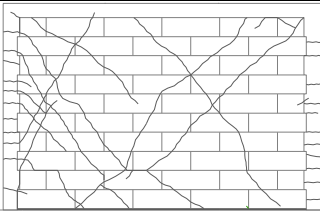
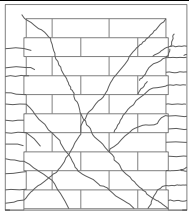


M. Ev.	M-0.71-3.0-53	M-1.23-3.0-53	M-1.94-3.0-53	M-2.64-3.0-53																								
$V_{agr}$	 <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.00	1.00	0.00	 <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.00	1.00	0.00	 <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.00	1.00	0.00	 <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.00	1.00	0.00
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																										
1.00	1.00	0.00																										
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																										
1.00	1.00	0.00																										
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																										
1.00	1.00	0.00																										
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																										
1.00	1.00	0.00																										
$V_{max}$	 <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.21</td> <td>3.78</td> <td>0.68</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.21	3.78	0.68	 <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.26</td> <td>5.15</td> <td>0.76</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.26	5.15	0.76	 <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.64</td> <td>6.78</td> <td>0.76</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.64	6.78	0.76	 <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.35</td> <td>3.37</td> <td>0.60</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.35	3.37	0.60
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																										
1.21	3.78	0.68																										
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																										
1.26	5.15	0.76																										
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																										
1.64	6.78	0.76																										
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																										
1.35	3.37	0.60																										
$V_u$	 <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.10</td> <td>5.09</td> <td>0.78</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.10	5.09	0.78	 <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.01</td> <td>8.65</td> <td>0.88</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.01	8.65	0.88	 <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.31</td> <td>10.77</td> <td>0.88</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.31	10.77	0.88	 <table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.08</td> <td>4.16</td> <td>0.74</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.08	4.16	0.74
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																										
1.10	5.09	0.78																										
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																										
1.01	8.65	0.88																										
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																										
1.31	10.77	0.88																										
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																										
1.08	4.16	0.74																										

Con base en la Tabla 5.30 se observó que, con respecto a la resistencia máxima normalizada, se presentó un aumento de la capacidad de deformación conforme la relación de aspecto aumentaba, dicha capacidad fue entre 3.78 y 6.78. A excepción del muro M-2.64-3.0-53 donde la capacidad de deformación fue de 3.37. La degradación de la rigidez varió de acuerdo con la relación de aspecto. En muros con relación de aspecto de 1.23 y 1.94, la degradación de la rigidez fue similar. Dicha degradación fue del 76% en promedio. Mientras que en los muros con relación de aspecto de 0.71 y 2.64, la degradación de la rigidez fue similar. Dicha degradación fue entre 60% y 68%. El patrón de agrietamiento en los muros fue similar, se observaron múltiples agrietamientos diagonales en el panel y en los castillos se

observaron agrietamientos horizontales con respecto a su altura, así como agrietamientos diagonales en las esquinas superiores. Por otra parte, con respecto a la resistencia última normalizada, se presentó un aumento de la capacidad de deformación conforme la relación de aspecto aumenta, dicha capacidad fue entre 5.09 y 10.77. A excepción del muro M-2.64-3.0-53 donde la capacidad de deformación fue de 4.16. La degradación de la rigidez varió de acuerdo con la relación de aspecto. En muros con relación de aspecto de 1.23 y 1.94, la degradación de la rigidez fue similar. Dicha degradación fue del 88% en promedio. Mientras que en los muros con relación de aspecto de 0.71 y 2.64, la degradación de la rigidez fue similar. Dicha degradación fue entre 74% y 78%. El patrón de agrietamiento en los muros fue similar, se observó una mayor cantidad de agrietamientos diagonales en el panel. Mientras que los castillos no se presentó un aumento significativo de agrietamientos.

Con base a NTCDS y siendo una altura constante ( $H= 240$  cm), el desplazamiento permisible ( $\Delta_p$ ) es de 1.2 cm. Relacionando el desplazamiento permisible con respecto al desplazamiento al primer agrietamiento de cada muro de CCA, se obtiene la capacidad de deformación correspondiente ( $\bar{\delta}$ ). En la Tabla 5.31 se presenta la capacidad de deformación ( $\bar{\delta}$ ), resistencia ( $\bar{R}$ ) y degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ) de los muros con relación de aspecto de 2.64 con respecto a  $\Delta_p$ .

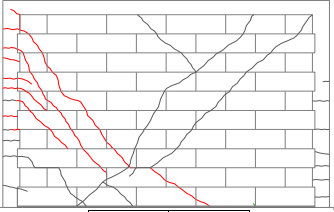
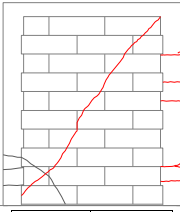
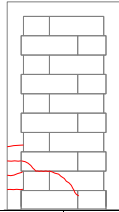
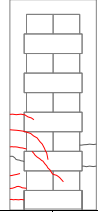
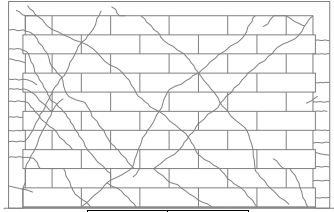
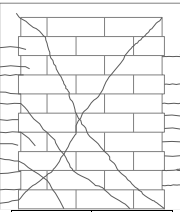
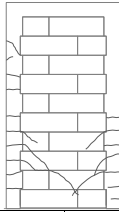
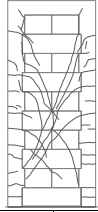
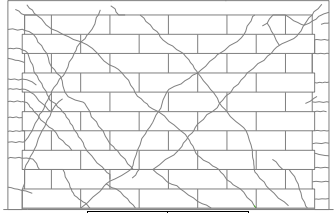
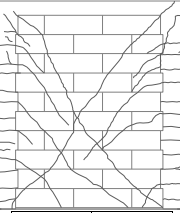
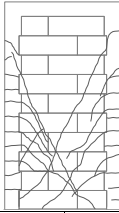
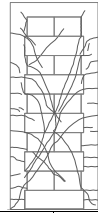
Tabla 5.31. Capacidad de deformación, resistencia y degradación de la rigidez de muros con  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ .

<b>M-0.71-3.0-53</b>	<b>M-1.23-3.0-53</b>	<b>M-1.94-3.0-53</b>	<b>M-2.64-3.0-53</b>																								
																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.04</td> <td>1.70</td> <td>0.33</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.04	1.70	0.33	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.12</td> <td>3.53</td> <td>0.68</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.12	3.53	0.68	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.29</td> <td>3.34</td> <td>0.61</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.29	3.34	0.61	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.05</td> <td>1.39</td> <td>0.17</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.05	1.39	0.17
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																									
1.04	1.70	0.33																									
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																									
1.12	3.53	0.68																									
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																									
1.29	3.34	0.61																									
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																									
1.05	1.39	0.17																									

Con base en la Tabla 5.31, se observó que la capacidad de deformación en los muros varió de acuerdo con el comportamiento observado. En muros dominados por cortante (M-0.71-3.0-53 y M-1.23-3.0-53), se observó que la capacidad de deformación aumentó conforme la relación de aspecto incrementa. Dicha capacidad fue entre 1.70 a 3.53. La degradación de la rigidez aumentó conforme la relación de aspecto incrementaba, dicha degradación fue entre el 33% al 68%. La resistencia normalizada en ambos muros fue similar, siendo entre el 1.04 y el 1.12. El patrón de agrietamiento en los muros fue similar, se observó la misma cantidad de agrietamientos diagonales en el panel como en los castillos. Mientras que en muros dominados por flexo-cortante (M-1.94-3.0-53 y M-2.64-3.0-53), la capacidad de deformación disminuyó conforme la relación de aspecto se incrementaba, siendo una disminución del 3.34 al 1.39. La degradación de la rigidez disminuyó conforme la relación de aspecto incrementa, dicha degradación fue entre el 17% y 61%. La resistencia normalizada en ambos muros disminuyó conforme la relación de aspecto disminuía, dicha degradación fue entre 1.05 a 1.29. El patrón de agrietamiento en los muros varió. Se observa que en el muro M-1.94-3.0-53 se presentaron varios agrietamientos diagonales en el panel. Siendo en la parte inferior del muro donde se observó un mayor daño. También se presentaron varios agrietamientos en los castillos en toda su altura. Mientras que en el muro M-2.64-3.0-53 se presentaron una menor cantidad de agrietamientos diagonales en el panel, así como en la cantidad de agrietamientos en los castillos. En resumen, en ninguno de los muros se alcanzó la resistencia máxima con respecto a la distorsión permisible indicado en la NTCDS (Tabla 5.30). Con base en lo anterior, se observa que, para un mismo desplazamiento, se presentaron diferentes niveles de degradación de la rigidez. Para muros con menor relación de aspecto, en general, la degradación fue mayor al 60%, mientras que, en muros con mayor relación de aspecto, la degradación de la rigidez fue del 17%.

En la Tabla 5.32 se presenta la evolución del daño de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $53.88 \text{ kg/cm}^2$ . En cada muro se presentan el patrón de agrietamiento, la resistencia normalizada ( $\bar{R}$ ) y la degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ) asociado a la capacidad de deformación ( $\bar{\delta}$ ).

Tabla 5.32. Evolución del daño de muros con  $\sigma$  de 3 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

$\bar{\delta}$	M-0.71-3.0-53	M-1.23-3.0-53	M-1.94-3.0-53	M-2.64-3.0-53																
1	 <table border="1" data-bbox="386 527 542 604"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00	 <table border="1" data-bbox="711 527 867 604"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00	 <table border="1" data-bbox="971 527 1127 604"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00	 <table border="1" data-bbox="1219 527 1375 604"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00
$\bar{R}$	$\bar{k}$																			
1.00	0.00																			
$\bar{R}$	$\bar{k}$																			
1.00	0.00																			
$\bar{R}$	$\bar{k}$																			
1.00	0.00																			
$\bar{R}$	$\bar{k}$																			
1.00	0.00																			
2	 <table border="1" data-bbox="386 821 542 898"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.05</td> <td>0.47</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.05	0.47	 <table border="1" data-bbox="711 821 867 898"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.50</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.50	 <table border="1" data-bbox="971 821 1127 898"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.23</td> <td>0.44</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.23	0.44	 <table border="1" data-bbox="1219 821 1375 898"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.12</td> <td>0.44</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.12	0.44
$\bar{R}$	$\bar{k}$																			
1.05	0.47																			
$\bar{R}$	$\bar{k}$																			
1.00	0.50																			
$\bar{R}$	$\bar{k}$																			
1.23	0.44																			
$\bar{R}$	$\bar{k}$																			
1.12	0.44																			
3	 <table border="1" data-bbox="386 1115 542 1192"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.17</td> <td>0.61</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.17	0.61	 <table border="1" data-bbox="711 1115 867 1192"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.06</td> <td>0.65</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.06	0.65	 <table border="1" data-bbox="971 1115 1127 1192"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.25</td> <td>0.58</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.25	0.58	 <table border="1" data-bbox="1219 1115 1375 1192"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.29</td> <td>0.57</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.29	0.57
$\bar{R}$	$\bar{k}$																			
1.17	0.61																			
$\bar{R}$	$\bar{k}$																			
1.06	0.65																			
$\bar{R}$	$\bar{k}$																			
1.25	0.58																			
$\bar{R}$	$\bar{k}$																			
1.29	0.57																			

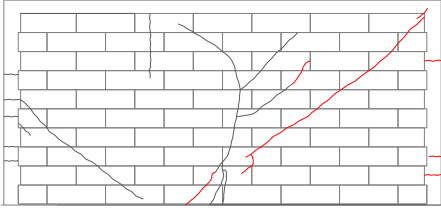
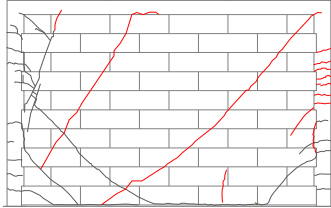
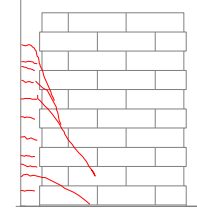
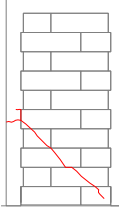
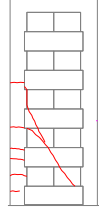
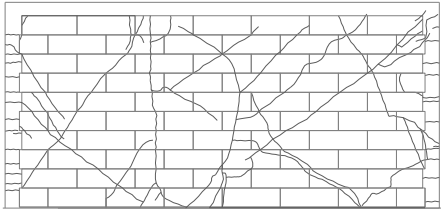
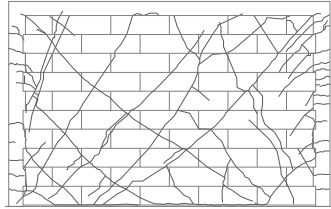
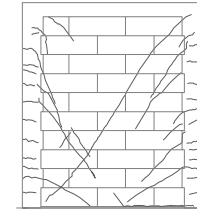
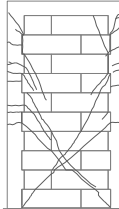
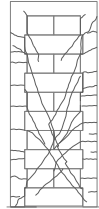
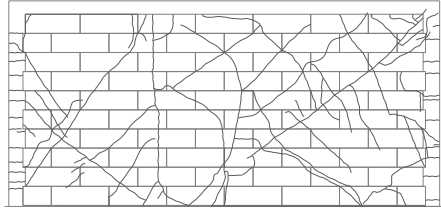
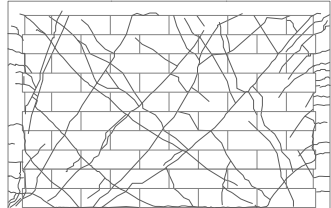
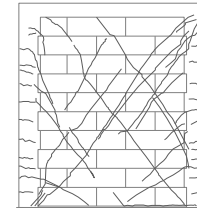
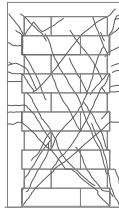
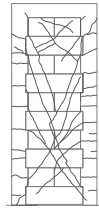
Con base en la Tabla 5.32 se observó que, para una capacidad de deformación de 2, la degradación de la rigidez en los cuatro muros fue similar. Siendo entre el 44% y el 50%. La resistencia normalizada difirió de acuerdo con el comportamiento presentado en el muro. En muros dominados por cortante, la resistencia normalizada disminuyó conforme la relación de aspecto aumentaba. Mientras que en muros dominados por flexo-cortante la resistencia normalizada fue similar. El patrón de agrietamiento difirió con respecto al comportamiento presentado en los muros. En muros dominados por cortante, se observó que conforme aumenta la relación de aspecto, la presencia de agrietamientos diagonales en el panel de mampostería disminuía. Del mismo modo sucede con la presencia de agrietamientos en los castillos. En muros dominados por flexo-cortante, se observó que conforme

aumentaba la relación de aspecto, la presencia de agrietamientos diagonales en el panel aumentaba. Del mismo modo sucedió con la presencia de agrietamientos en los castillos. Por otro lado, para una capacidad de deformación de 3, la degradación de la rigidez fue similar dependiendo del comportamiento presentado en los muros. En muros dominados por cortante, la degradación de la rigidez fue entre 61% y 65%. En muros dominados por flexo-cortante la degradación de la rigidez fue entre 57% y 58%. La resistencia normalizada fue similar dependiendo del comportamiento presentado en los muros. En muros dominados por cortante, la resistencia fue entre 1.06 y 1.17. En muros dominados por flexo-cortante, la resistencia fue entre 1.25 y 1.29. El patrón de agrietamiento en los muros fue similar. Se observó un incremento de agrietamientos diagonales en el panel. En los castillos se observó un incremento de agrietamientos horizontales y la formación de grietas diagonales en las esquinas superiores. Con base en lo anterior, se observó que, para una misma capacidad de deformación, la pérdida de la rigidez fue similar independiente de la relación de aspecto. Por lo tanto, podría utilizarse la capacidad de deformación como criterio del nivel de daño.

En la Tabla 5.33 se presenta el resumen del comportamiento de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$  con respecto a los eventos principales. En cada muro se presenta su respectivo patrón de agrietamiento, resistencia ( $\bar{R}$ ), capacidad de deformación ( $\bar{\delta}$ ) y degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ).



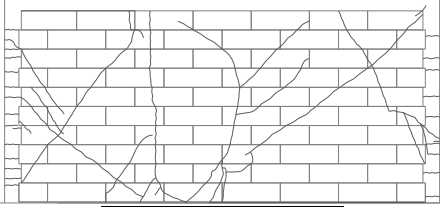
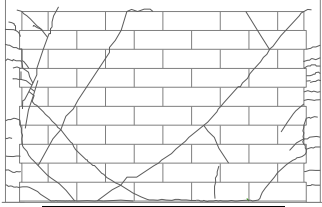
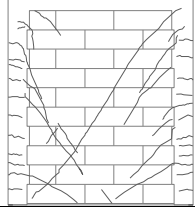
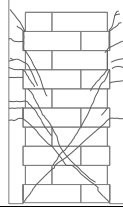

Tabla 5.33. Patrón de agrietamiento en muros con  $\sigma$  de 3 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup>.

M Ev.	M-0.52-3.0-44	M-0.71-3.0-44	M-1.30-3.0-44	M-1.94-3.0-44	M-2.64-3.0-44																														
<b>V<sub>agr</sub></b>	 <table border="1" data-bbox="373 613 617 695"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.00	1.00	0.00	 <table border="1" data-bbox="835 613 1079 695"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.00	1.00	0.00	 <table border="1" data-bbox="1167 613 1411 695"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.00	1.00	0.00	 <table border="1" data-bbox="1430 613 1673 695"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.00	1.00	0.00	 <table border="1" data-bbox="1696 613 1940 695"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.00	1.00	0.00
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.00	1.00	0.00																																	
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.00	1.00	0.00																																	
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.00	1.00	0.00																																	
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.00	1.00	0.00																																	
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.00	1.00	0.00																																	
<b>V<sub>max</sub></b>	 <table border="1" data-bbox="373 906 617 987"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.23</td> <td>8.58</td> <td>0.86</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.23	8.58	0.86	 <table border="1" data-bbox="835 906 1079 987"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.15</td> <td>6.62</td> <td>0.83</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.15	6.62	0.83	 <table border="1" data-bbox="1167 906 1411 987"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.44</td> <td>3.50</td> <td>0.59</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.44	3.50	0.59	 <table border="1" data-bbox="1430 906 1673 987"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.43</td> <td>3.07</td> <td>0.47</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.43	3.07	0.47	 <table border="1" data-bbox="1696 906 1940 987"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.25</td> <td>2.98</td> <td>0.58</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.25	2.98	0.58
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.23	8.58	0.86																																	
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.15	6.62	0.83																																	
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.44	3.50	0.59																																	
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.43	3.07	0.47																																	
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.25	2.98	0.58																																	
<b>V<sub>u</sub></b>	 <table border="1" data-bbox="373 1198 617 1279"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.04</td> <td>16.90</td> <td>0.94</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.04	16.90	0.94	 <table border="1" data-bbox="835 1198 1079 1279"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.99</td> <td>9.51</td> <td>0.90</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	0.99	9.51	0.90	 <table border="1" data-bbox="1167 1198 1411 1279"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.38</td> <td>5.61</td> <td>0.75</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.38	5.61	0.75	 <table border="1" data-bbox="1430 1198 1673 1279"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.15</td> <td>9.07</td> <td>0.88</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.15	9.07	0.88	 <table border="1" data-bbox="1696 1198 1940 1279"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>5.00</td> <td>0.80</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.00	5.00	0.80
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.04	16.90	0.94																																	
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
0.99	9.51	0.90																																	
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.38	5.61	0.75																																	
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.15	9.07	0.88																																	
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																	
1.00	5.00	0.80																																	

Con base en la Tabla 5.33 se observó que, la resistencia máxima normalizada se presentó a diferentes capacidades de deformación, se observó que conforme la relación de aspecto aumentaba, la capacidad de deformación disminuía. Dicha capacidad fue entre el 2.98 y 8.58. La degradación de la rigidez disminuía conforme la relación de aspecto aumentaba, dicha degradación fue entre el 47% y 86%. A excepción del muro M-2.64-3.0-44, donde la degradación de la rigidez fue del 58%. El patrón de agrietamiento en los muros varía de acuerdo con el tipo de comportamiento observado. En muros dominados por cortante (M-0.52-3.0-44 y M-0.71-3.0-44), se observaron múltiples agrietamientos diagonales en el panel. En los castillos se observaron agrietamientos horizontales con respecto a su altura, así como la formación de agrietamientos diagonales en las esquinas superiores. Mientras que en muros dominados por flexo-cortante (M-1.30-3.0-44, M-1.94-3.0-44 y M-2.64-3.0-44), se observó una menor cantidad de agrietamientos diagonales en el panel, aunque la formación de agrietamientos en los castillos fue similar. Por otra parte, en la resistencia última, la capacidad de deformación disminuyó conforme la relación de aspecto aumentaba. Siendo una capacidad entre 5 y 16.90. La degradación de la rigidez disminuyó conforme la relación de aspecto aumentaba. Siendo una degradación entre 80% y 94%. El patrón de agrietamiento fue, en general, similar en todos los muros. Se observaron múltiples agrietamientos diagonales en el panel, mientras que el agrietamiento en los castillos no se presentó un aumento significativo.

Con base en las NTCDS y siendo una altura constante ( $H= 240$  cm), el desplazamiento permisible ( $\Delta_p$ ) es de 1.2 cm. Relacionando el desplazamiento permisible con respecto al desplazamiento al primer agrietamiento de cada muro de CCA, se obtiene la capacidad de deformación correspondiente ( $\bar{\delta}$ ). En la Tabla 5.34 se presenta la capacidad de deformación ( $\bar{\delta}$ ), resistencia normalizada ( $\bar{R}$ ) y degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ) de los muros con esfuerzo axial de  $3 \text{ kg/cm}^2$  y  $f_{CCA}$  de  $44.13 \text{ kg/cm}^2$ , con respecto a  $\Delta_p$ .

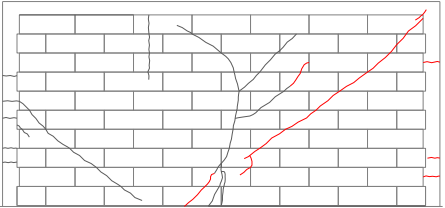

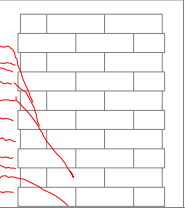
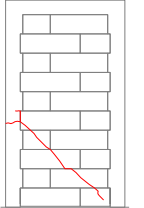
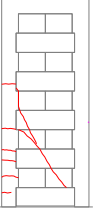
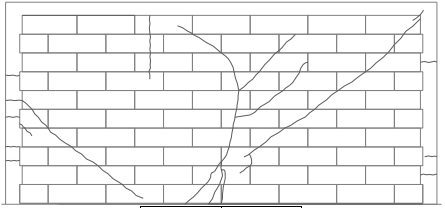
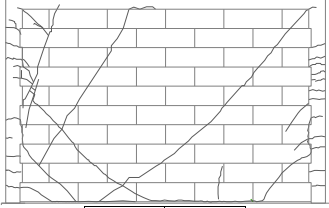
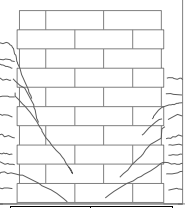
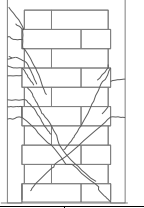
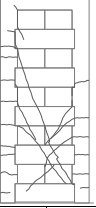
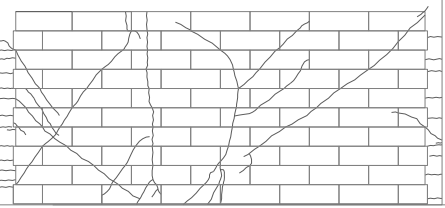
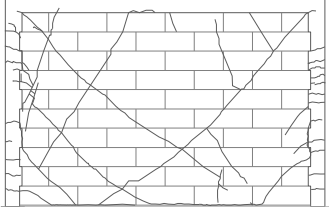
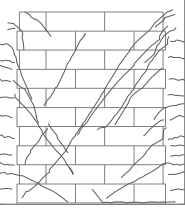
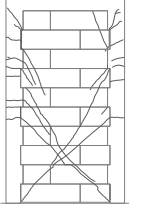
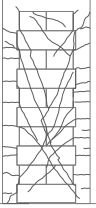
Tabla 5.34. Capacidad de deformación, resistencia y degradación de la rigidez de muros con  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup>.

M-0.52-3.0-44	M-0.71-3.0-44	M-1.30-3.0-44	M-1.94-3.0-44	M-2.64-3.0-44																														
																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.18</td> <td>5.58</td> <td>0.79</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.18	5.58	0.79	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.10</td> <td>4.97</td> <td>0.78</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.10	4.97	0.78	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.36</td> <td>2.91</td> <td>0.53</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.36	2.91	0.53	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.31</td> <td>2.58</td> <td>0.48</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.31	2.58	0.48	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\bar{R}</math></th> <th><math>\bar{\delta}</math></th> <th><math>\bar{k}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.05</td> <td>1.83</td> <td>0.39</td> </tr> </tbody> </table>	$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$	1.05	1.83	0.39
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																
1.18	5.58	0.79																																
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																
1.10	4.97	0.78																																
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																
1.36	2.91	0.53																																
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																
1.31	2.58	0.48																																
$\bar{R}$	$\bar{\delta}$	$\bar{k}$																																
1.05	1.83	0.39																																

Con base en la Tabla 5.34 se observó que, la capacidad de deformación presentó una disminución conforme la relación de aspecto aumentaba, dicha capacidad fue entre 1.83 y 5.58. La degradación de la rigidez se presentó de manera diferente de acuerdo con el comportamiento observado. En muros dominados por cortante, la degradación de la rigidez fue similar, dicha degradación fue del 79% en promedio. Mientras que en muros dominados por flexo-cortante, la degradación de la rigidez disminuía conforme la relación de aspecto aumenta, la degradación fue entre 39% y 53%. El patrón de agrietamiento se presentó de manera similar, se observaron agrietamientos diagonales en el panel, así como agrietamientos horizontales en los castillos. Con base en lo anterior, se observó que, para un mismo desplazamiento permisible, la pérdida de la rigidez fue mayor en muros con menor relación de aspecto. Esto fue similar a lo observado en muros con  $f_{CCA}$  de 53.88 kg/cm<sup>2</sup>.

En la Tabla 5.35 se presenta la evolución del daño de los muros con esfuerzo axial de 3 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup>. En cada muro se presenta el patrón de agrietamiento, la resistencia normalizada ( $\bar{R}$ ) y la degradación de la rigidez ( $\bar{k}$ ) asociada a la capacidad de deformación ( $\bar{\delta}$ ).

Tabla 5.35. Evolución del daño de muros con  $\sigma$  de 3 kg/cm<sup>2</sup> y  $f_{CCA}$  de 44.13 kg/cm<sup>2</sup>.

$\bar{\delta}$	M-0.52-3.0-44	M-0.71-3.0-44	M-1.30-3.0-44	M-1.94-3.0-44	M-2.64-3.0-44																				
1	 <table border="1" data-bbox="407 581 569 662"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00	 <table border="1" data-bbox="877 581 1039 662"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00	 <table border="1" data-bbox="1205 581 1367 662"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00	 <table border="1" data-bbox="1436 581 1598 662"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00	 <table border="1" data-bbox="1663 581 1824 662"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.00</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.00
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.00	0.00																								
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.00	0.00																								
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.00	0.00																								
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.00	0.00																								
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.00	0.00																								
2	 <table border="1" data-bbox="407 880 569 961"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.54</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.54	 <table border="1" data-bbox="877 880 1039 961"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.54</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.54	 <table border="1" data-bbox="1205 880 1367 961"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.22</td> <td>0.39</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.22	0.39	 <table border="1" data-bbox="1436 880 1598 961"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.17</td> <td>0.41</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.17	0.41	 <table border="1" data-bbox="1663 880 1824 961"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.06</td> <td>0.47</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.06	0.47
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.00	0.54																								
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.00	0.54																								
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.22	0.39																								
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.17	0.41																								
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.06	0.47																								
3	 <table border="1" data-bbox="407 1172 569 1253"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.04</td> <td>0.65</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.04	0.65	 <table border="1" data-bbox="877 1172 1039 1253"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>0.66</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.00	0.66	 <table border="1" data-bbox="1205 1172 1367 1253"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.37</td> <td>0.54</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.37	0.54	 <table border="1" data-bbox="1436 1172 1598 1253"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.42</td> <td>0.53</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.42	0.53	 <table border="1" data-bbox="1663 1172 1824 1253"> <tr> <td><math>\bar{R}</math></td> <td><math>\bar{k}</math></td> </tr> <tr> <td>1.25</td> <td>0.58</td> </tr> </table>	$\bar{R}$	$\bar{k}$	1.25	0.58
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.04	0.65																								
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.00	0.66																								
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.37	0.54																								
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.42	0.53																								
$\bar{R}$	$\bar{k}$																								
1.25	0.58																								

Con base en la Tabla 5.35 se observó que, para una capacidad de deformación de 2, la degradación de la rigidez se ubicó entre el 39% y el 54%. La resistencia normalizada se presentó de manera diferente de acuerdo con el comportamiento observado en el muro. En muros dominados por cortante, la resistencia normalizada de los muros fue de 1.0. En muros dominados por flexo-cortante, la resistencia normalizada disminuía conforme aumentaba la relación de aspecto, dicha resistencia fue entre 1.06 al 1.22. El patrón de agrietamiento se presentó de manera similar en los muros. Se observaron agrietamientos diagonales en el panel y agrietamientos horizontales en los castillos. Para una capacidad de deformación de 3, la degradación de la rigidez fue similar dependiendo del comportamiento presentado en los muros. En muros dominados por cortante, la degradación fue entre 65% y 66%. En muros dominados por flexo-cortante, la degradación fue entre 54% y 58%. La resistencia normalizada varía de acuerdo con el comportamiento observado en los muros. En muros dominados por cortante, la resistencia normalizada fue similar. Dicha resistencia fue entre 1 y 1.04. En muros dominados por flexo-cortante, la resistencia normalizada disminuía conforme la relación de aspecto aumentaba. Dicha resistencia fue entre 1.25 y 1.42. El patrón de agrietamiento en los muros fue similar. Se observó una mayor cantidad de agrietamientos en el panel de mampostería, así como en el incremento en la formación de agrietamientos horizontales en los castillos. En general, se observa que, para una capacidad de deformación de 2, la degradación de la rigidez de todos los muros fue aproximadamente del 50%.

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.

El objetivo general en este trabajo de investigación fue evaluar el comportamiento a cortante de muros de mampostería confinada de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Se diseñaron, construyeron y ensayaron dos muros a escala natural con relaciones de aspecto de 2.64 (M-2.64-4.8-53 y M-2.64-7.2-53) y altura constante de 2.40 m, con esfuerzos axiales de  $4.80 \text{ kg/cm}^2$  y  $7.20 \text{ kg/cm}^2$ , respectivamente. Con base en los resultados experimentales de trece muros ensayados en este trabajo, por Ricalde (2019), por Fernández (2019), por Pinto (2018), por Chim (2017) y por Alcocer (2017), se analizaron sus respectivas capacidades de deformación y de resistencia, degradación de la rigidez, energía disipada acumulada y patrones de agrietamiento. A partir de los resultados experimentales y analíticos se formulan las siguientes conclusiones:

1. El primer agrietamiento en los muros ensayados en este trabajo está asociado a una falla por flexo-cortante. Este agrietamiento se presentó con la combinación del agrietamiento horizontal en el castillo y del agrietamiento diagonal en el panel. El agrietamiento por cortante se presentó en el ciclo posterior a un nivel de carga similar al del agrietamiento por flexo-cortante.
2. El patrón de agrietamiento final de los muros fue en forma de X. Dicho patrón se caracterizó por grietas diagonales en el panel. Adicionalmente se formaron grietas horizontales en los castillos.
3. El primer agrietamiento de muros confinados de CCA depende de su relación de aspecto. En muros con relación de aspecto menor que 1.30, el primer agrietamiento estará asociado a una falla por cortante. Mientras que en muros con relación de aspecto mayor que 1.30, el primer agrietamiento estará asociado a una falla por flexo-cortante.
4. La resistencia al primer agrietamiento por cortante o flexo-cortante de los muros depende de la relación de aspecto y del esfuerzo axial. Conforme disminuye la relación de aspecto, la resistencia aumenta. Por su parte, conforme se incrementa el esfuerzo axial, la resistencia aumenta.

5. La capacidad de deformación depende de la relación de aspecto y del esfuerzo axial. Conforme disminuye la relación de aspecto, la capacidad de deformación aumenta. Por su parte, para los muros estudiados se observó que conforme se incrementa el esfuerzo axial, en general, la capacidad de deformación aumenta.
6. En general se observó que, conforme la relación de aspecto aumenta, la degradación de la rigidez disminuye. Por otro lado, para muros con relación de aspecto de 1.23, el esfuerzo axial contribuye en la degradación de la rigidez. Conforme aumenta el esfuerzo axial, la degradación de la rigidez incrementa. Para muros con relación de aspecto de 2.64, el esfuerzo axial no contribuye de manera significativa en la degradación de la rigidez.
7. La energía disipada acumulada depende de la relación de aspecto y del esfuerzo axial. Conforme la relación de aspecto disminuye, la energía disipada acumulada incrementa. Por otra parte, conforme el esfuerzo axial incrementa, la energía disipada acumulada incrementa.
8. En muros con misma relación de aspecto y diferente  $f_{CCA}$ . La resistencia a la compresión del CCA influye en la energía disipada acumulada de los muros. Conforme aumenta la resistencia del CCA, la cantidad de energía disipada acumulada aumenta.
9. Para la distorsión permisible de muros de mampostería confinada cargados de piezas sólidas, establecida la NTCDS ( $\gamma_{max} = 0.005$ ). Para el desplazamiento permisible asociado a dicha distorsión (1.2 cm), la degradación de la rigidez es diferente para muros con diferente relación de aspecto y diferente esfuerzo axial. Dicha degradación de la rigidez varía entre el 17% y 80%.
10. Se observó que, para una misma capacidad de deformación, la degradación de la rigidez es similar independiente de la relación de aspecto y del esfuerzo axial. Para una capacidad de deformación de 2, la degradación de la rigidez de los muros estudiados es alrededor del 50%.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ACI. 2013. Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures (TMS 402-13/ ACI 530 / ASCE 5-13; TMS 602-13 / ACI 530.1-13 / ASCE 6-13). 2013 edition. Farmington Hills, MI.
2. Aguilar G., Meli R., Díaz R. y Vázquez-del-Mercado R. (1996). Influence of horizontal reinforcement on the behavior of confined masonry walls. In "Eleventh World Conference on Earthquake Engineering", National Center for Disaster Prevention, No. 1380, CDMX, México.
3. Alcocer R.A. (2017) Ecuaciones de diseño por cortante para muros confinados de CCA. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
4. Alcocer S.M. y Zepeda J.A. (1999) Behavior of multi-perforated clay brick walls under earthquake-type loading. In "Proceedings, eighth North American masonry conference", CDROM.
5. Alcocer S.M., Ruiz J., Pineda J.A. y Zepeda J.A. (1996). Retrofitting of confined masonry walls with welded wire mesh. In "World conference on earthquake engineering", Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Acapulco; México.
6. ASTM - American Society for Testing and Materials (2011). Standard Specification for Autoclaved Aerated Concrete (AAC). ASTM C1693-11. ASTM International. USA.
7. ASTM - American Society for Testing and Materials (2018). Standart Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM C39/C39M-18. ASTM International. USA.
8. ASTM - American Society for Testing and Materials (2007). Standart Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 – mm] Cube Specimens). ASTM C109/C109M-07. ASTM International. USA.
9. ASTM - American Society for Testing and Materials (2002). Standart Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). ASTM C 78-02. ASTM International. USA.
10. ASTM - American Society for Testing and Materials (2002). Standart Test Method and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. ASTM A370-02. ASTM International. USA.
11. ASTM - American Society for Testing and Materials (2001). Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Masonry Units. ASTM C1006-01. ASTM International. USA.
12. Argudo J (2003) Evaluation and synthesis of experimental data for Autoclaved Aerated Concrete, PhD Dissertation, Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin, Texas, USA.

13. Bose S. y Rai DC (2014) Behavior of AAC infilled RC frame under lateral loading, In Proceedings of the 10th National Conference in Earthquake Engineering, Anchorage, Alaska, Kuly 21-25.
14. Bourzam A., Goto T. y Miyajima M. (2008) Shear capacity prediction of confined masonry walls subjected to cyclic lateral loading. "Structural engineering/earthquake engineering", JSCE, Vol. 25, No. 2, 47s – 59s.
15. Chim R.U. (2017) Comportamiento a cortante en muros confinados de concreto celular de autoclave: Efecto de la relación de aspecto, Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
16. Cruz A.I., Pérez-Gavilan J.J. y Flores L. (2019) Experimental study of in-plane shear strength of confined concrete masonry walls with joint reinforcement. "Journal Engineering Structures", Vol. 182, 213 – 226.
17. Ferretti D., Michellini E y Rosati G. (2015) Cracking in autoclaved aerated concrete: Experimental investigation an XFEM modeling. "Cement and concrete research" (67), 156-167.
18. Drysdale G. Robert y Hamid A. (2008) Masonry Structures Behavior and Design, 3° edition, The Masonry Society, Boulder Colorado.
19. Fernández Baqueiro L.E., Sosa Moreno M.I. y Varela Rivera J.L. (2014). Resistencia en el plano de muros de mampostería confinada: efecto de la relación de aspecto. En "Memorias del XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural", Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, Puerto Vallarta, Jalisco, México.
20. Fernández D.R. (2019). Resistencia a cortante de muros confinados de CCA, Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
21. Haach V.G., Vasconcelos G. y Lourenco P.B. (2010). Experimental analysis of reinforced concrete block masonry walls subjected to in-plane cyclic loading. Journal of Structural Engineering, 136 (4), 452 – 462.
22. Hernandez M. y García L. (2015) Block Celular AAC4 y AAC6, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. (Informe Técnico No. 222/223).
23. Mandirola Martina, Penna Andrea, Rota Maria y Magenes Guido (2012) Experimental Assessment of the Shear Response of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Masonry with Flat Truss Bed-Join Reinforcement, In proceedings of the 15th International Brick and Block Masonry Conference, Florianopolis, Brasil.
24. Marinalli A. y Castilla E. (2004). Experimental evaluation of confined masonry walls with several confining-columns. In "13th World Conference on Earthquake Engineering", Agosto 1-6, No. 2129, Vancouver, B.C., Canada.
25. Marinalli A. y Castilla E. (2016). Evaluación sismorresistente de muros de mampostería confinada con dos o más machones. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 31, 598-621.

26. Moreno Eric I. Solís Romel G., Varela Jorge L. y Gómez Marco A. (2016). Resistencia a tensión del concreto elaborado con agregado calizo de alta absorción. Concreto y Cemento. Investigación y desarrollo, Volumen 8, No.1, 35-45, Julio.
27. N. Narayanan y Ramamurthy K. (2000) Structure and properties of aerated concrete: a review, "Cement & concrete Composites" (22) 321-329.
28. GCM – Gobierno de la Ciudad de México (2017a), Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, "Gaceta Oficial de la Ciudad de México", México.
29. GCM – Gobierno de la Ciudad de México (2017b), Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo, "Gaceta Oficial de la Ciudad de México", México.
30. ONNCCE - Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. S. C. (2002). Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes-método de ensayo, NMX-C-083-ONNCCE-2002, Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México.
31. ONNCCE - Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. S. C. (2010). Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto-métodos de ensayo, NMX-C-464-ONNCCE-2010, Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México.
32. ONNCCE - Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. S. C. (2015). Determinación de la Resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos, NMX-C-061-ONNCCE-2015, Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México.
33. ONNCCE - Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. S. C. (2015). Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro, NMX-C-191-ONNCCE-2015, Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México.
34. Pérez Gavilán J.J., Flores L. y Alcocer S. (2013) Efecto de la esbeltez en la resistencia de muros de mampostería confinada. Revista de Ingeniería Sísmica, Vol. 89, 55-76.
35. Pérez Gavilán J.J., Flores L, y Alcocer S. (2011) An experimental study of confined masonry walls with varying aspect ratio, Earthquake Spectra, 31(2):945-968.
36. 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.

37. Quiroz, L., Maruyama, Y. y Zavala, C. (2014) Cyclic behavior of Peruvian confined masonry walls and calibration of numerical model using genetic algorithms, ELSEVIER Journal of Engineering Structures, 75:561-576.
38. Ravichandran Shiv Shanker y Klinger Richard E. (2012) Behavior of Steel Moment Frames with Autoclaved Aerated Concrete Infills, ACI Structural Journal, Volume 109, Issue 1, 83-90, Enero.
39. Raygoza L.E. (2012) Muros de mampostería confinada de bloques huecos de 15 cm, con relación de aspecto mayor a uno, sujetos a cargas laterales, Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
40. Riahi Z. (2007) Backbone model for confined masonry walls for performance based seismic design. Master's Thesis. The Faculty of Graduate Studies. The University of British Columbia. Vancouver B.C., Canada.
41. Ricalde J.L. (2017) Flexión en muros confinados de concreto celular de autoclave: Efecto de la carga axial, Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
42. Ricalde J.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.
43. RILEM (1993), Autoclaved Aerated Concrete: Properties, Testing and Design, RILEM Recommended Practice, RILEM Technical Committees 78- MCA and 51-ALC, E & FN SPON, London.
44. Rosado A.I (2014), Desempeño elástico y plástico del concreto fabricado con agregados reciclados de origen calizo de residuos de demolición, Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
45. San Bartolomé A, y Quiun D. (2010) Diseño sísmico de edificaciones de albañilería confinada, Revista ciencia, 13(2): 161-185.
46. San Bartolomé A, Quiun D y Torrealva, D. (1992), Seismic behavior of a three-story scale confined masonry Structure. Tenth world Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, Países Bajos.
47. Solís E. (2014), Rehabilitación y reforzamiento de muros de mampostería confinada con relación de aspecto mayor a uno, sujetos a cargas en el plano, Tesis de Maestría.
48. Sosa M.I, Comportamiento de muros de mampostería confinada de bloques huecos de concreto, sujetos a cargas laterales en su plano, 2013, Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
49. Tanner J. E. (2003) Design provisions for autoclaved aerated concrete (AAC) Structural Systems, Ph. D. dissertation, Dept. of civil Engineering, The University of Texas at Austin, Mayo 2003.
50. Tanner Jennifer E., Varela Jorge L. y Klinger Richard E. (2005 b) Design and Seismic Testing of Two-Story, full scale Autoclaved Aerated concrete

- Assemblage Specimen, ACI Structural Journal, Volume 102, Issue 1, 114-119, Enero 1
51. Tena, A., Juárez A., y Salinas V.H. (2009) Cyclic behavior of combined and confined masonry walls, Journal of Engineering Structures, 31 (1): 250-259.
  52. Tomazevic Miha y Klemenc Iztok (1997) Seismic behaviour of confined masonry walls, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26, 1059 – 1071.
  53. Treviño, E.L., Alcocer, S.M. y Flores, L.E. (2004) Investigación experimental del comportamiento de muros de mampostería confinada de bloques de concreto sometidos a cargas laterales cíclicas reversibles reforzados con acero de grados 60 y 42, In proceedings of the XIV National Congress of Structural Engineering, Acapulco, México 29 Oct-1 Nov 2004. Mexican Society of Structural Engineering, México D.F.
  54. Unzúa Pineda, D.A. Padilla Mora R. y Loza Jaramillo R. (2014) Influencia de la carga vertical en la resistencia sísmica de muros de mampostería confinada con materiales típicos de Guadalajara, Memorias del XIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Guadalajara, México, 31 Oct- 3 Nov 2001. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, México D.F.
  55. Zepeda J.A., Ojeda M. y Alcocer S.M. (1997) Comportamiento ante cargas laterales de muros de tabique perforado y multiperforado de arcilla, en “Memoria del XI Congreso Nacional de ingeniería Sísmica”, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica A.C., Veracruz; Ver., México.

# APÉNDICE A. PLANOS ESTRUCTURALES

Muro M-2.64-4.8 y M-2.64-7.2.

