



**Sistema Nacional de Protección Civil  
Centro Nacional de Prevención de Desastres**

**ENSAYE DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA DE TABIQUE  
MULTIPERFORADO DE CONCRETO CON REFUERZO HORIZONTAL, ESCALA 1:2**

Leonardo E. Flores Corona<sup>1</sup>  
Juan José Pérez Gavilán Escalante<sup>2</sup>

**Dirección de Investigación**

<sup>1</sup>Subdirección de Vulnerabilidad Estructural

<sup>2</sup>Instituto de Ingeniería de la UNAM

Diciembre de 2019



# CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	1
<b>CAPÍTULO 2 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>3</b>
2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ESPECÍMENES .....	3
2.1.1 Variables de estudio.....	3
2.1.2 Piezas de mampostería.....	3
2.1.3 Acero de refuerzo.....	4
2.1.4 Dimensiones de los modelos .....	5
2.1.5 Armados.....	6
2.2 PREDICCIÓN DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ .....	7
2.2.1 Resistencia del muro a cortante.....	7
2.2.2 Resistencia del muro a momento flexionante en su plano .....	9
2.2.3 Rigidez de los muros.....	10
2.3 INSTRUMENTACIÓN .....	11
2.3.1 Instrumentación Interna.....	11
2.3.2 Instrumentación externa.....	11
2.4 APLICACIÓN DE CARGAS .....	12
2.4.1 Marco de aplicación de cargas.....	12
2.4.2 Historia de carga .....	13
<b>CAPÍTULO 3 RESULTADOS GENERALES DE LOS ENSAYES.....</b>	<b>15</b>
3.1 ESPÉCIMEN M1-SR .....	15
3.2 ESPÉCIMEN M2-SR .....	16
3.3 ESPÉCIMEN M3-SR .....	17
3.4 ESPÉCIMEN M1-CR .....	18
3.5 ESPÉCIMEN M2-CR .....	19
3.6 COMPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES .....	20
<b>CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES .....</b>	<b>21</b>
<b>APÉNDICE A RESULTADOS DE ENSAYES DE MATERIALES .....</b>	<b>23</b>
A.1 COMPRESIÓN EN PILAS DE MAMPOSTERÍA .....	23
A.2 COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES.....	24
<b>APÉNDICE B CONSTRUCCIÓN DE ESPECÍMENES .....</b>	<b>27</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>29</b>



## **RESUMEN**

Se realizó el ensayo de cinco especímenes a escala 1:2 consistentes en muros de mampostería confinada de piezas multiperforadas de concreto, sometidos a carga vertical constante y fuerzas laterales cíclicas reversibles. Los muros se fijaron en su base al piso del laboratorio, teniendo dimensiones de 125×125 cm y 6 cm de espesor. Dos especímenes se reforzaron con alambres horizontales entre las hiladas de tabique y uno de ellos se reparó y se volvió a ensayar. Los especímenes fueron instrumentados con transductores de desplazamiento y deformímetros eléctricos en el acero de refuerzo.

Como resultados se obtuvieron las gráficas de histéresis de fuerza lateral contra desplazamiento horizontal, llegando hasta distorsiones laterales de 0.8% y de 1.6%, para muros sin y con refuerzo horizontal, respectivamente. Se registró información para analizar la distorsión angular y rotación así como el patrón de agrietamiento.

## **ABSTRACT**

Five specimens scaled 1:2, representing confined masonry walls of multi-perforated concrete units, subjected to constant vertical load and cyclic lateral loading, were tested. The walls were fixed at its base to the laboratory floor, having dimensions of 125 × 125 cm and 6 cm thick. Two specimens were reinforced with horizontal wires between the courses and one of them was retrofitted. The specimens were instrumented with external displacement transducers and strain gauges in the reinforcing steel.

As results, the hysteresis curves of lateral shear load versus drift angle were obtained, reaching lateral drifts of 0.8% and 1.6%, for walls without and with horizontal reinforcement, respectively.



# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

En la mesa vibradora del Instituto de Ingeniería de la UNAM se construyó para ensaye dinámico dos modelos representativos de edificios de mampostería confinada de tres niveles a escala reducida 1:2, construidos con piezas multiperforadas de concreto de fabricación industrializada, donde la variable principal de estudio fue el uso de alambres de acero colocados horizontalmente en las hiladas de mortero. Con dicho ensaye sísmico se estudia el comportamiento ante efectos dinámicos de una estructura de mampostería con y sin dicho refuerzo horizontal.

Debido a limitaciones en las dimensiones de la mesa vibradora del Instituto de Ingeniería los modelos se escalaron para estudiar los efectos dinámicos del sismo en un edificio de varios niveles, por lo que se diseñaron los modelos de la mitad del tamaño del de un edificio real (escala uno a dos), proyecto que tiene como antecedente directo dos especímenes que fueron previamente ensayado en la misma instalación, con una geometría equivalente pero realizados con piezas macizas de arcilla (Flores, 2016).

Poder ensayar especímenes ante efectos dinámicos es el tipo de ensaye que más se aproxima al efecto de un edificio real ante un sismo; sin embargo, existe aún algunas dudas del comportamiento exacto de cada elemento estructural ya que en las pruebas se obtiene la respuesta en conjunto de todos los muros con el acoplamiento dado por las losas. Con la finalidad de establecer parámetros para modelos de comportamiento histérico es conveniente contar con resultados del comportamiento de los elementos estructurales más importantes en forma independiente en pruebas controladas.

Por lo tanto, en el presente proyecto se realizó la construcción iniciando con cuatro muros y posteriormente repitiendo uno de los modelos. Fueron muros cuadrados a escala 1:2, usando las mismas piezas perforadas de concreto usadas en los modelos de mesa vibradora. Las piezas representan tabiques multiperforados, calificados como macizos debido a su porcentaje de área neta. Para escalar las piezas estas fueron recortadas de tabiques de tamaño natural. Asimismo, se usaron alambres de acero de reducidas dimensiones que equivalen geoméricamente a las barras de refuerzo de castillos y dalas a escala. Dos de los muros se hicieron sin refuerzo horizontal y dos con este refuerzo mediante alambres de acero estirado en frío colocados entre las hiladas horizontales. Los especímenes se ensayaron ante carga horizontal cíclica reversible. Todas las pruebas se consideran cuasiestáticas, es decir, con aplicación lenta de las cargas.

### 1.1 OBJETIVOS

- Los ensayes se planearon para obtener la respuesta de los especímenes representada por el cortante de agrietamiento, la resistencia (cortante máximo), la rigidez inicial y su degradación, la capacidad de deformación inelástica, los mecanismos de falla y los patrones de daño en los especímenes. La representación gráfica cortante contra deformación, conocida como curva de histéresis, es parte fundamental de la respuesta.
- Se buscó que el modo de falla sea a cortante por tensión diagonal y que el refuerzo horizontal participara en la resistencia para lo cual se configuró el marco de carga para aplicar cortante a los muros a su altura media, con un diagrama de momentos flexionantes equivalente al de una barra vertical empotrada en sus extremos (“doble empotrado”) y desplazada horizontalmente en su parte superior.



## CAPÍTULO 2

### PROGRAMA EXPERIMENTAL

#### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ESPECÍMENES

##### 2.1.1 Variables de estudio

Originalmente se planteó hacer cuatro especímenes, dos con refuerzo horizontal y dos sin él, y de cada caso hacer un ensaye cíclico y otro monótono; sin embargo, se cambió el criterio y se decidió repetir en todos el mismo ensaye cíclico reversible. Después del primer ensaye, que fue un espécimen sin refuerzo horizontal, se decidió repetir el muro construyendo otro modelo idéntico, ya que la prueba se realizó con un gato hidráulico de control manual y, al ir al ciclo de 5 mm, se dio una falla incontrolable llegando a 10 mm, sin poder continuar la prueba. Para los siguientes especímenes se usó un actuador MTS controlado por computadora.

En la Tabla 2.1 se enlistan los nombres y características de cada espécimen. Para representar la carga de los muros de planta baja del ensaye previo en mesa vibradora, la carga vertical debía generar un esfuerzo en los muros de  $\sigma = 0.38 \text{ MPa}$  ( $3.88 \text{ kg/cm}^2$ ), aplicado mediante el peso de las vigas de acero de transmisión de las fuerzas al muro más una carga puesta adicionalmente.

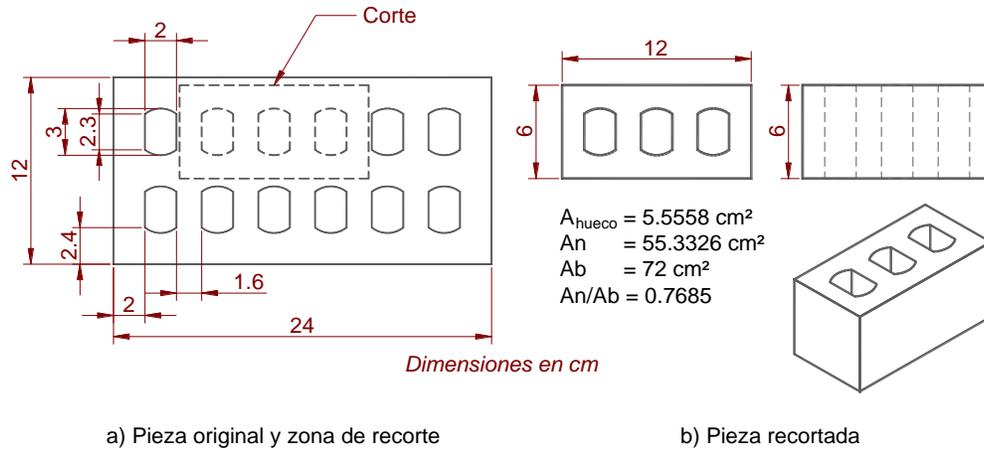
**Tabla 2.1 Especímenes de prueba**

No.	Anterior	Nombre	Refuerzo horizontal	Tipo de ensaye
1	MCsr-e	M1-sr	Sin refuerzo	Cíclico Pseudo-estático, gato verde
2	MCsr-m	M2-sr	Sin refuerzo	Cíclico Pseudo estático, MTS
3	MCcr-e	M1-cr	Con refuerzo	Cíclico Pseudo-estático, MTS
4	MCcr-m	M2-cr	Con refuerzo	Cíclico Pseudo-estático, MTS
5	MCsr-e2	M3-sr	Sin refuerzo	Repetir el primero con actuador MTS

##### 2.1.2 Piezas de mampostería

Los muros se construyeron con mampostería confinada de piezas multiperforadas de concreto (calificadas como macizas por su área neta) de fabricación industrializada. Se estudiaron opciones como la fabricación directamente de las piezas con moldes a escala pero se presentaron varios inconvenientes por lo que se optó por recortar piezas de tamaño normal.

Siendo la dimensión nominal de las piezas del prototipo de  $12 \times 12 \times 24 \text{ cm}$ , las piezas a escala 1:2 serían de  $6 \times 6 \times 12 \text{ cm}$ , por lo que los muros tuvieron un espesor  $t$  de 6 cm. Para el corte se seleccionó la distribución mostrada en la Figura 2.1.



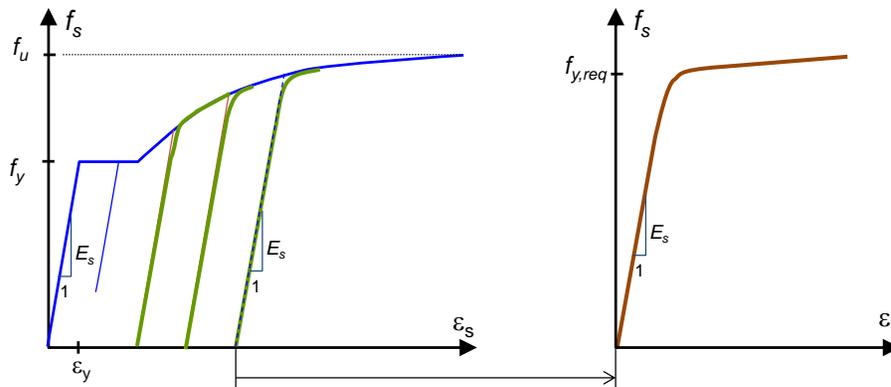
**Figura 2.1** Cortes de la pieza prototipo para obtener piezas del modelo (de Pérez Gavilán, 2017)

Se aprecia que en vez de ser una pieza multiperforada con 12 alveolos la pieza recortada solo tenía tres huecos; sin embargo, se estimó que su comportamiento sería satisfactorio ya que ambas piezas tienen exactamente la misma relación de área neta a bruta ( $A_n/A_b = 0.769$ ) con lo que se clasifican como macizas (mayor al 75%), y porque se podría lograr formar la llave de cortante del mortero penetrando un poco en los tres huecos.

### 2.1.3 Acero de refuerzo

Para recrear el comportamiento del refuerzo, la forma más adecuada para el escalamiento consistía en utilizar barras de la mitad de diámetro de las del prototipo, pero con sus mismas características de esfuerzo de fluencia y elongación inelástica. Esto implicó modelar las barras del no. 3 (3/8 pulg o 9.5 mm) con barras o más bien alambres de 4.75 mm o 3/16 pulg.

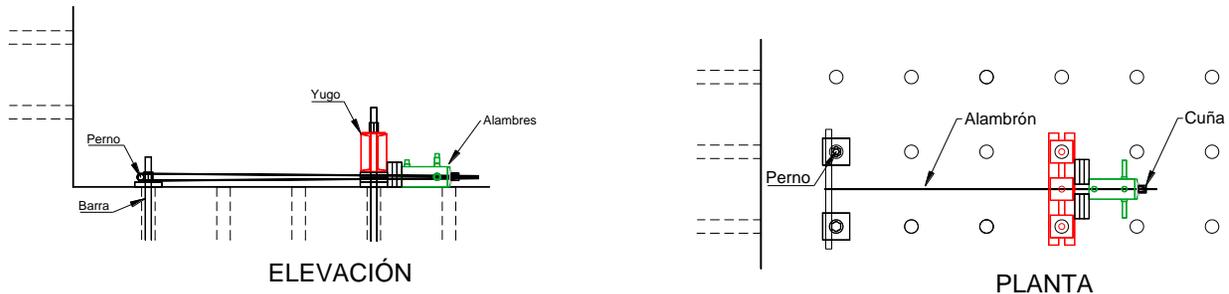
Aunque existen en el mercado alambres de dichas dimensiones un inconveniente es que son de acero estirado en frío con esfuerzos de fluencia nominal 600 MPa (6000 kg/cm<sup>2</sup>), y alargamientos relativamente bajos, de menos de 6%. Por lo tanto se usó la solución de un proyecto previo (Flores, 2016) estirando alambres del no. 2 (1/4 pulg = 0.63 mm de diámetro), con un esfuerzo original de fluencia de  $f_y = 230$  MPa (2340 kg/cm<sup>2</sup>) y llevándolos al alargamiento por fluencia y endurecimiento por deformación, de tal forma de igualar el esfuerzo requerido de  $f_{y,req} = 412$  MPa (4200 kg/cm<sup>2</sup>). Este comportamiento se ejemplifica en la Figura 2.2.



**Figura 2.2** Comportamiento de una barra estirada en frío

Una desventaja de este procedimiento es que se trabaja con alambres lisos en vez de corrugados, lo cual afecta a la longitud de adherencia entre acero y concreto. Sin embargo, en el proyecto previo se tuvo un comportamiento muy aceptable.

En la Figura 2.3 se muestra el dispositivo usado, con un gato de 50 t para dar la carga de 2140 kg en dos alambres paralelos. Como la carrera del gato es de 15 cm y se requerían alargar un 11% siendo la longitud inicial de 2 m, y por tanto estirar 22 cm, fue necesario poner calzas adicionales y repetir la maniobra.



**Figura 2.3** Dispositivo para alargar los alambres del no. 2

#### 2.1.4 Dimensiones de los modelos

Los modelos tuvieron una altura de  $H = 1.25$  m, y se usó un espesor de losa de 10 cm, por lo tanto la altura a losa terminada, desde la viga grande de cimentación fue de 1.5 m. Los modelos se reforzaron con castillos de  $60 \times 75$  mm, con armados de cuatro barras de 6.3 mm (no. 2) y estribos de alambre de 3.17 mm (no. 1) a cada 90 mm, así como tres estribos en cada extremo a cada 45 mm.

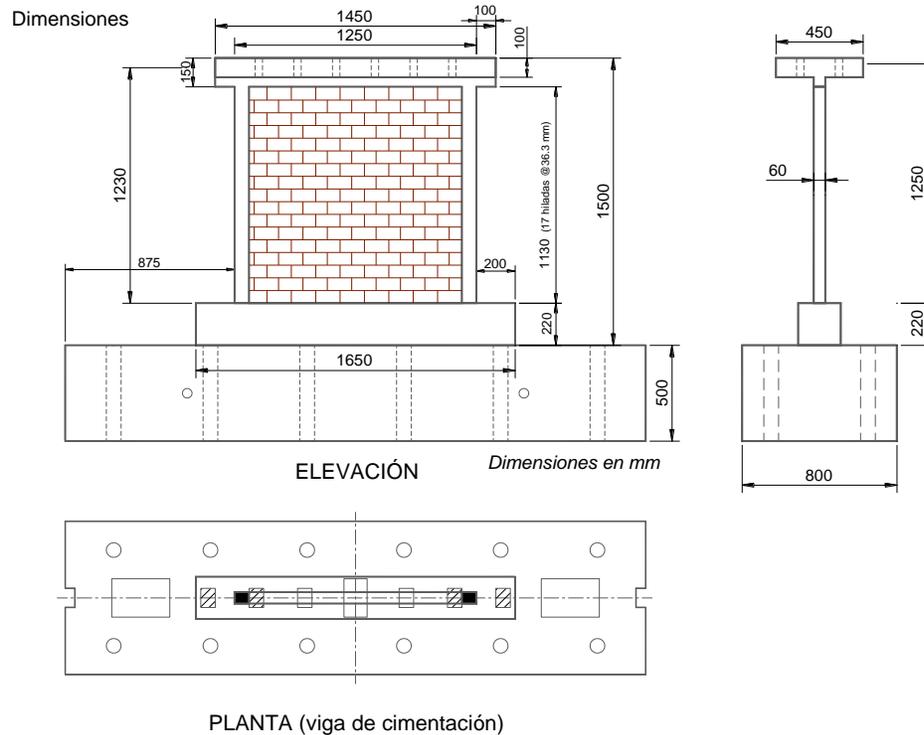
Estas dimensiones reproducen las de un muro típico del prototipo escaladas a la mitad de su dimensión real, el cual tendría una altura de 2.5 m, que representa la altura convencional en vivienda típica, con castillos de  $12 \times 15$  cm armados con cuatro barras del no. 4 ( $\frac{1}{2}$  plg) y estribos de alambres a cada 18 cm. El diámetro de las barras longitudinales de los castillos es mayor que el armado típico ya que, al tener refuerzo horizontal, se esperaba un aumento considerable de la resistencia a cortante y por lo cual, para obligar a la falla por tensión diagonal, era necesario reforzar adicionalmente los castillos evitando así una falla por flexión.

En la parte superior se construyó una dala de dimensiones similares al castillo y una losa de 450 mm de ancho por 100 mm de peralte para la conexión al marco de carga y transmisión de las fuerzas cortantes. El armado y espesor de la losa no pretendían simular las del modelo a escala, ya que estos elementos se ha visto que tienen poca influencia en el comportamiento de un muro aislado, y solo se configuraron para servir como parte del dispositivo de aplicación de cargas.

Las propiedades nominales de los materiales usados fueron:

* Concreto de vigas de cimentación,	$f'_c = 30$ MPa	(300 kg/cm <sup>2</sup> ) (ya existían)
* Concreto de castillos y dala,	$f'_c = 20$ MPa	(200 kg/cm <sup>2</sup> )
* Acero longitudinal de castillo y dala	$f_y = 412$ MPa	(4200 kg/cm <sup>2</sup> )
* Alambres de estribos de castillos y dala	$f_y = 600$ MPa	(6000 kg/cm <sup>2</sup> )
* Tabique multiperforado de concreto,	$f'_p = 9$ MPa	(90 kg/cm <sup>2</sup> )
	$f'_m = 6$ MPa	(60 kg/cm <sup>2</sup> )
	$v'_m = 0.8$ MPa	(8 kg/cm <sup>2</sup> )
* Mortero 1:¼:3, tipo I	$f'_j = 12.5$ MPa	(125 kg/cm <sup>2</sup> )

Los modelos se desplantaron en una viga de cimentación de 800×400 mm existente en el CENAPRED, para proporcionar anclaje a las barras de los castillos y lograr así una condición teórica de empotramiento del muro en su base. También se usa para transportar el modelo y para sujetar el mismo a la losa de reacción del laboratorio. En la Figura 2.4 se presenta la geometría de los especímenes.



**Figura 2.4 Geometría de los especímenes**

### 2.1.5 Armados

En la Figura 2.5 y en la Figura 2.6 se muestran los armados de los especímenes. Todos los castillos tuvieron cuatro barras número 2 (6.3 mm de diámetro) y estribos de alambre de 3.25 mm (calibre 10.5) separados cada 90 mm que corresponde a una y media vez el espesor del muro ( $1.5t$ ), donde  $t = 60$  mm.

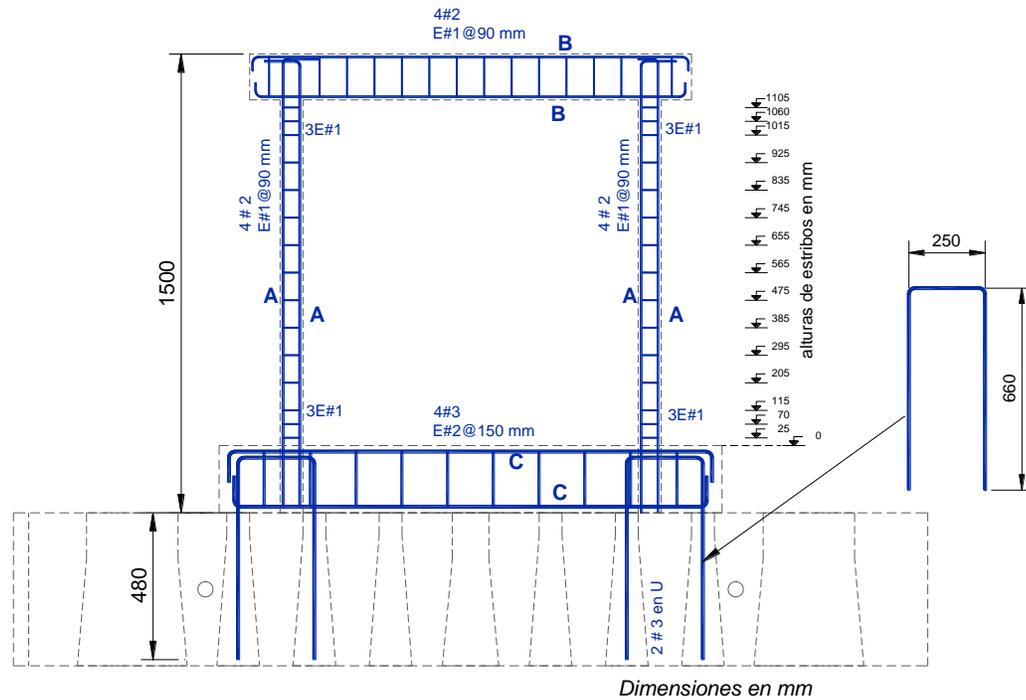


Figura 2.5 Armados de los castillos de los especímenes

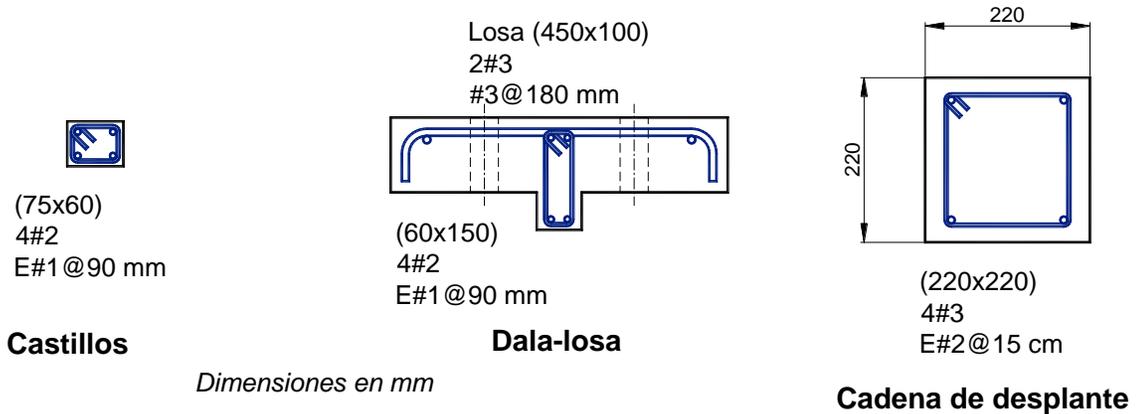


Figura 2.6 Armado de elementos de concreto

## 2.2 PREDICCIÓN DE RESISTENCIA Y RIGIDEZ

Es importante contar con una predicción teórica previa, con propiedades nominales de los materiales para el diseño del experimento por la capacidad necesaria de los gatos hidráulicos, el diseño del marco de carga y la selección de los instrumentos de medición.

### 2.2.1 Resistencia del muro a cortante

a) Contribución de la resistencia a cortante de la mampostería

Para predecir la resistencia de los especímenes se tomó el cálculo de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, NTCM (GDF, 2017). La expresión es:

$$V_{mR} = F_R (0.5v_m' A_T + 0.3P) \cdot f \leq 1.5F_R v_m' A_T \cdot f \quad (2.1)$$

donde

$F_R$  factor de resistencia, se tomará igual a 1.0 para la predicción en estos ensayos;

$v_m'$  resistencia a compresión diagonal de la mampostería;

$A_T$  área transversal del muro (área en planta = longitud por espesor del muro,  $L \times t$ , incluye los castillos);

$P$  carga axial sobre el muro;

$f$  factor que toma en cuenta la relación de aspecto, para muros cuadrados  $f = 1$ .

Se supuso una resistencia nominal a cortante de  $v_m' = 0.8$  MPa (8 kg/cm<sup>2</sup>), para tabique artesanal. Haciendo las operaciones resultó:

$$A_T = L \cdot t = 6 \times 125 = 750 \text{ cm}^2; \quad y$$

$$P = \sigma A_T = 3.88 \times 750 = 2,910 \text{ kg, por lo tanto}$$

$$V_{mR} = 1 \times (0.5 \times 9 \times 750 + 0.3 \times 2910) \times 1 = 4,248 \text{ kg, que es menor que } 1.5F_R v_m' A_T f = 10125 \text{ kg}$$

b) Contribución de la resistencia a cortante del refuerzo horizontal

Para los casos en que se use refuerzo horizontal las NTCM proponen la siguiente ecuación:

$$V_{sR} = F_R \eta p_h f_{yh} A_T \quad (2.2)$$

$$p_h = A_{sh} / (s_h t) \quad (2.3)$$

donde

$p_h$  cuantía de acero horizontal;

$s_h$  separación de alambres horizontales;

$A_{sh}$  área de acero en cada junta reforzada;

En cada posición se usará un alambre de 4 mm (5/32 pulg), con área de  $a_s = A_s = 0.124$  cm<sup>2</sup>.

La altura de las piezas es de 60 mm con una junta de 6 mm, las hiladas miden 66 mm. La separación máxima del refuerzo horizontal es de seis hiladas o 420 mm, por lo que en el modelo se toma como seis hiladas o 210 mm. Colocando el refuerzo cada tres hiladas (5/32@3 hiladas) la separación será de  $s_h = 3 \times 6.6 = 19.8$  cm, por lo tanto:

$$p_h = A_s / (s_h \cdot t) = 0.124 / (19.8 \times 6) = 0.00104 \quad y, \text{ por lo tanto: } p_h f_{yh} = 0.00104 \times 6000 = 6.24 \text{ kg/cm}^2$$

(Nota: debe ser  $p_h f_{yh} \geq 3$  kg/cm<sup>2</sup>)

$\eta$  es la eficiencia del refuerzo:

$$\eta = \frac{V_{mR}}{F_R p_h f_{yh} A_T} (k_0 k_1 - 1) + \eta_s \quad (2.4)$$

$k_0$  constantes; en este caso  $k_0 = 1.3$  por ser muro cuadrado, y

$$k_1 = 1 - \alpha p_h f_{yh} = 1 - 0.045(6.25) = 0.72 \quad (2.5)$$

pero debe ser  $k_1 \geq (1 - 0.1 f_{an} f_m' \alpha) = 1 - 0.1(0.769)(90)(0.045) = 0.689$  (cumple).

$\eta_s$  factor que vale  $\eta_s = 0.75$  si  $f_m' \geq 90$  kg/cm<sup>2</sup>,

pero si  $p_h f_{yh} > 0.1 f_{an} f_m'$  entonces se multiplica  $\eta_s$  por  $0.1 f_{an} f_m' / p_h f_{yh}$ ;

$$0.1 f_{an} f_m' = 0.1(0.769)(90) = 6.92$$

$$p_h f_{yh} = 6.24 < 6.92 \text{ kg/cm}^2, \text{ por lo tanto } \eta_s = 0.75$$

$$\text{Entonces se calcula: } \eta = 4050 / (1 \times 6.25 \times 720) \times (1.3 \times 0.72 - 1) + 0.75 = 0.691$$

$$y \quad V_{sR} = 1.0 \times 0.691 \times 6.25 \times 720 = 3,236 \text{ kg}$$

c) Resistencia a fuerza cortante

La resistencia esperada en el muro con refuerzo horizontal es la suma de la contribución de la mampostería más la del refuerzo:

$$V_R = V_{mR} + V_{sR} = 7,484 \text{ kg}$$

### 2.2.2 Resistencia del muro a momento flexionante en su plano

Para calcular la resistencia a momento y carga axial se puede construir un diagrama momento-curvatura para la carga axial considerada. También se puede construir el diagrama de interacción momento-carga vertical. Una aproximación se logra usando las expresiones de la NTC-Mamp:

$$M_R = F_R A_s f_y d' + 0.3 P_u d, \quad \text{si } P_u < P_R/3 \quad (2.6)$$

donde

- $F_R$  factor de resistencia, se toma igual a 0.8 si  $P_u < P_R/3$ ;
- $A_s$  área del refuerzo colocada en cada castillo extremo;
- $d'$  distancia entre los centroides del acero colocado en los extremos del muro;
- $d$  peralte efectivo;
- $P_u$  carga axial sobre el muro; y
- $P_R$  resistencia a carga vertical.

El momento flexionante en la base del muro trabajando como doble empotrado será el producto de la fuerza cortante por la mitad de la altura del muro.

Calculando la resistencia a carga axial, se usará el área del acero de los castillos con cuatro alambres corrugados del no. 2 (¼ pulg), con  $f_y = 420 \text{ MPa}$  (4200 kg/cm<sup>2</sup>), por lo que  $A_s f_y = 4 \times 0.32 \times 4200 = 5,376 \text{ kg}$ .

$$P_R = F_R (f_m' A_T + \Sigma A_s f_y) = 0.6 \times (60 \times 750 + 2 \times 5376) = 33,451 \text{ kg}$$

El peralte efectivo es la distancia entre el centroide del acero a tensión y la fibra extrema a compresión de la sección transversal, es decir:  $d = L - h_c/2$ , siendo  $h_c$  el peralte del castillo. Por lo tanto  $d = 125 - 7.5/2 = 121.25 \text{ cm}$ .

$$\text{La separación del acero de los castillos vale: } d' = L - h_c = 125 - 7.5 = 117.5 \text{ cm}$$

Como la carga aplicada con  $\sigma = 3.88 \text{ kg/cm}^2$  es de  $P_u = P = 2,910 \text{ kg}$ ,  $P$  es menor que  $P_R/3$ , así:

$$M_R = [ 0.8 \times 5376 \times 117.5 + 0.3 \times 2910 \times 121.3 ] / 100,000 = 6.11 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para el diseño del refuerzo longitudinal de los castillos se ha tomado la premisa de evitar que domine la falla por flexión para poder tener la información de la resistencia y comportamiento ante el mecanismo de falla por cortante.

La fuerza horizontal que requeriría para alcanzar el momento resistente de diseño (incluyendo factores de reducción) es:

$$V_{MR} = 2M_R / H = 2(6.11) / 1.25 = 9.78 \text{ t}, \quad \text{que es 1.3 veces la resistencia esperada } V_R = 7.5 \text{ t}$$

Por lo tanto, para evitar la falla por flexión, es correcto usar en el modelo alambres del no. 2 (¼ pulg) que equivalen a usar en el prototipo 4 barras del no. 4 (12.7 mm).

### 2.2.3 Rigidez de los muros

La rigidez se calculará como la de una columna doblemente empotrada con desplazamiento horizontal superior (Figura 2.7), considerando deformaciones por cortante y por flexión, mediante fórmulas de la mecánica de materiales:

$$\text{Rig} = V/\delta = \frac{1}{\left( \frac{H^3}{12E_m I} + \frac{H}{G_m A_T} \right)} \quad (2.7)$$

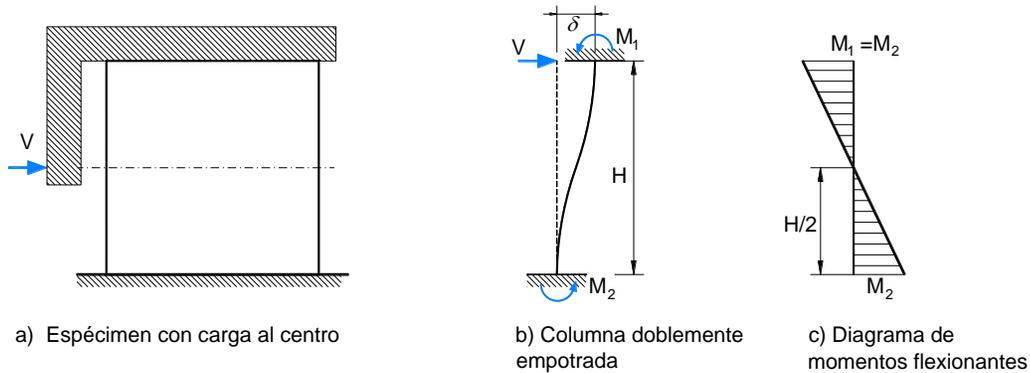
donde

$H$  altura del modelo;

$E_m, G_m$  módulo de elasticidad y de cortante, respectivamente;

$A_T$  área de cortante que se tomará como el área transversal del muro incluyendo castillos;

$I$  momento de inercia.



**Figura 2.7 Condición de carga y diagrama de momentos flexionantes**

Para el momento de inercia se consideró la contribución de los castillos extremos transformando la sección de concreto a mampostería y despreciando la contribución de los castillos intermedios. Las propiedades nominales tomadas son:

$$E_c = 8000 \sqrt{f_c'} = 113,137 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_m = 800 f_m' \text{ y } G_m = 0.2. \text{ Para piezas de concreto, por tanto: } E_m = 72000 \text{ kg/cm}^2, G_m = 14400 \text{ kg/cm}^2,$$

Para estimar el momento de inercia de la sección de los muros se toman en cuenta los castillos mediante la sección transformada. Sea la relación de módulos de elasticidad,  $n$ :

$$n = E_c / E_m = 113137 / 72000 = 1.57$$

Se obtiene el momento de inercia como:

$$I = t \cdot L_m^3 / 12 + 2n [ b_c h_c^3 / 12 + A_c (L - h_c)^2 / 4 ] \quad (2.8)$$

donde

$L_m = L - 2h_c$  la longitud de mampostería entre castillos

$b_c, h_c$  el ancho y el peralte de los castillos

$$I = 6 (110)^3 / 12 + 2 \times 1.57 [ 6 \times 7.5^3 / 12 + 45 (117.5)^2 / 4 ] = 1,154,287$$

$$\text{Rig} = [ 125^3 / (12 \times 113137 \times 1153868) + 125 / (14400 \times 750) ]^{-1} / 1000 = 73.9 \text{ t/cm}$$

## 2.3 INSTRUMENTACIÓN

### 2.3.1 Instrumentación Interna

Para conocer la distribución de fuerzas en los elementos estructurales, se colocarán deformímetros eléctricos adheridos a barras de refuerzo. Los sensores colocados en los castillos permitirán deducir la distribución de momentos flexionantes.

No se ha propuesto instrumentar las dalas ya que en experimentos previos se ha verificado que no son sometidas a grandes demandas.

Para el refuerzo horizontal se colocarán doce deformímetros eléctricos (“strain gauge”), tres en cada extremo de los castillos, dos de ellos en barras longitudinales y uno en un estribo. En la Figura 2.8 se muestra el esquema de instrumentación en el que se usarán seis deformímetros eléctricos de 2 mm de ancho, marca Tokyo Sokky Kenyuijuo.

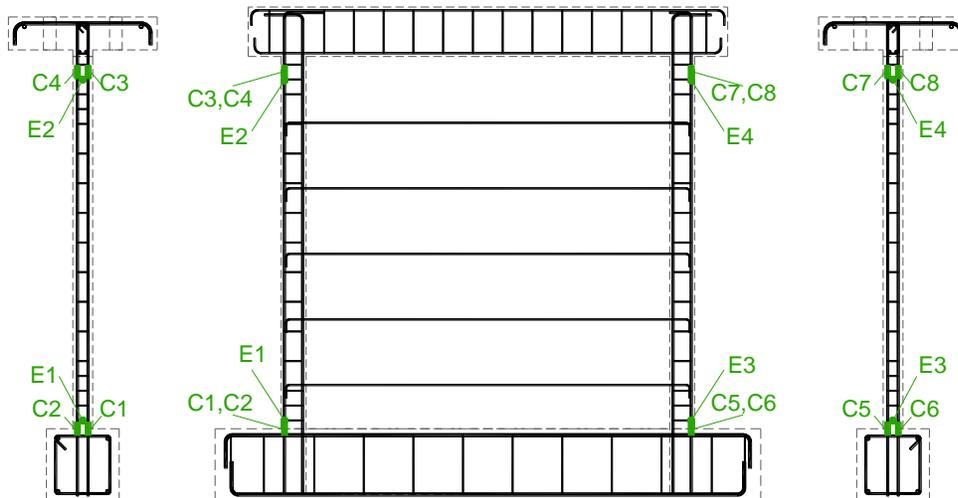


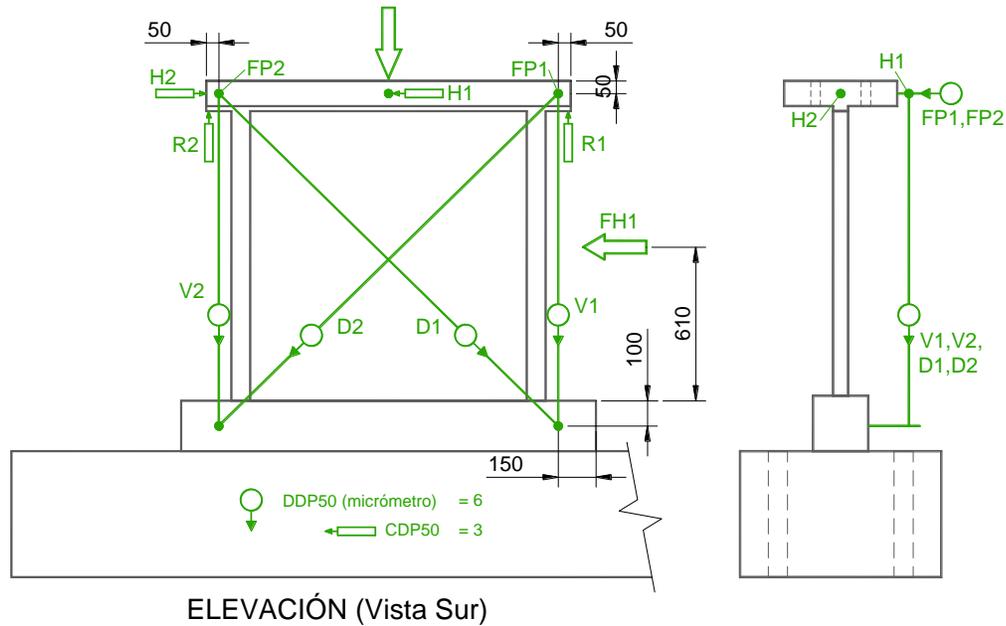
Figura 2.8 Instrumentación interna

### 2.3.2 Instrumentación externa

Adicionalmente a la medición de la carga y del desplazamiento horizontal al nivel del eje de la losa superior, se dispondrá de una serie de medidores de deformación. Dentro de la instrumentación se incluyen dispositivos para medir:

- 1) Desplazamiento horizontal;
- 2) Rotación en los extremos de los castillos;
- 3) Diagonales; y
- 4) Rotación de la losa superior.

En la Figura 2.9 se muestra la instrumentación.



**Figura 2.9 Instrumentación externa**

Las mediciones de las diagonales permiten estimar las deformaciones por cortante. Los instrumentos verticales en los castillos se usarán para calcular las deformaciones por flexión.

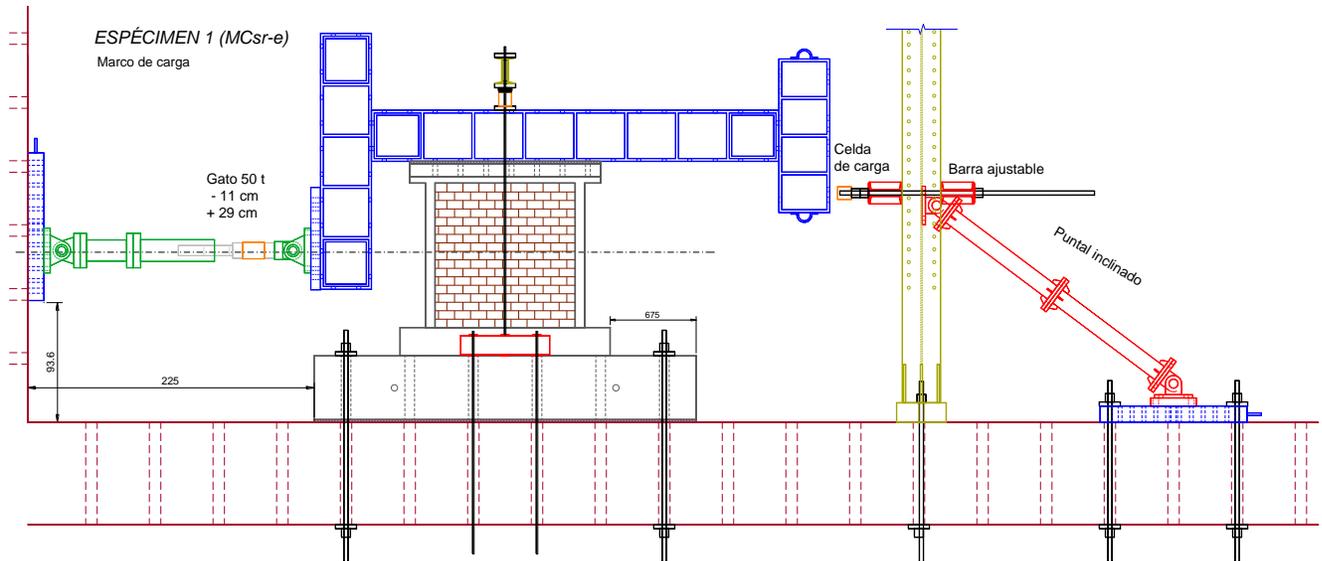
## 2.4 APLICACIÓN DE CARGAS

### 2.4.1 Marco de aplicación de cargas

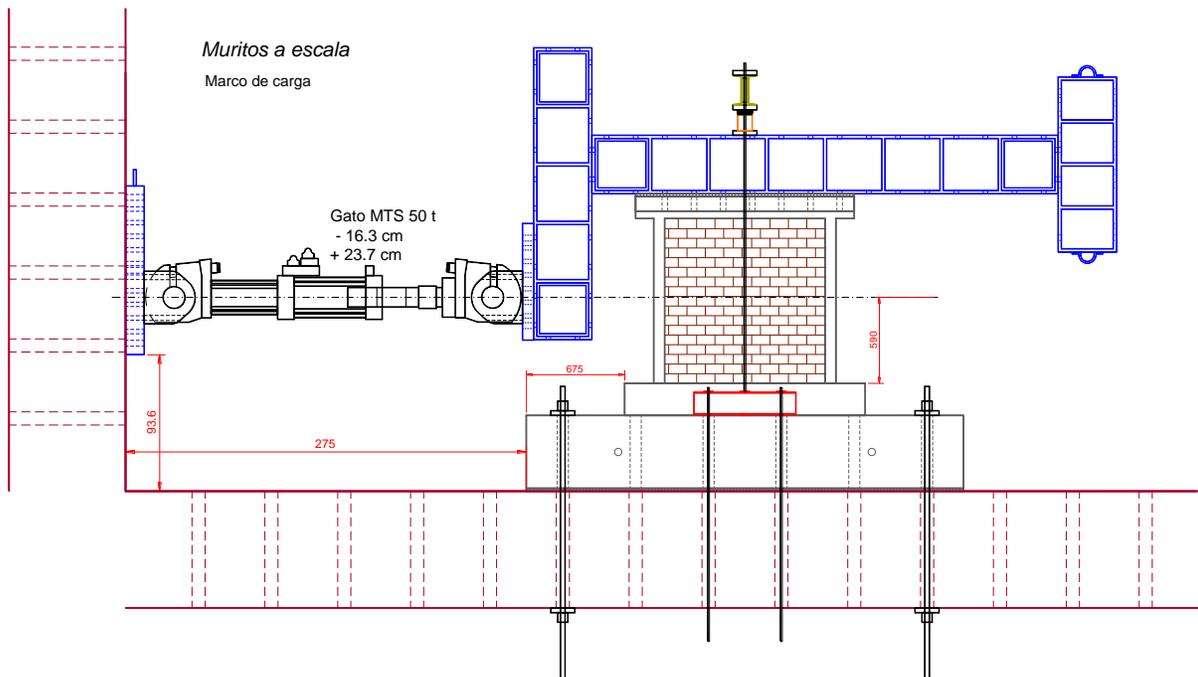
Para los ensayos se aplicaron cargas horizontales cíclicas reversibles mediante actuadores o gatos hidráulicos de doble acción. La carga vertical se aplicó mediante carga muerta correspondiente al peso de las vigas de acero sobre el espécimen más una colgada aplicada con otra viga a modo de palanca. La carga horizontal se aplicó a lo largo de un eje a la mitad de la altura del muro para lograr una distribución de momentos y cortantes equivalente a una columna doblemente empotrada (desplazada en su parte superior).

En el ensaye realizado por Flores y Guzman (2015) y en el descrito por Flores y Pérez Gavilán (2016), se colocó un tope para restringir las deformaciones del espécimen en caso de una falla súbita. En la Figura 2.10 se muestra el marco de carga usado en dichos ensayos de muros a escala y en la Figura 2.11 se propone el montaje para el ensaye de los nuevos muros.

En el caso de que el espécimen se deformara sin control y se apoyara en el tope, la medición de la carga lateral se corregiría por la fuerza medida en la celda de carga de dicho tope. En este caso, como no se tiene el tope en la misma línea de acción que el gato horizontal se hace un ajuste al momento flexionante adicional.



**Figura 2.10** Sistema de restricción para evitar un desplazamiento sin control



**Figura 2.11** Dispositivo de aplicación de cargas con actuador servocontrolado marca MTS

#### 2.4.2 Historia de carga

En el ensaye cíclico se realizó aplicando ciclos y una repetición de cada incremento. Los primeros ciclos se controlaron por carga hasta el agrietamiento; los dos primeros ciclos se hicieron hasta el 25% de la carga de agrietamiento estimada, el siguiente incremento se realizó hasta el 50% de la misma con su respectiva repetición. A continuación el incremento se controló por desplazamiento y se buscó llegar al agrietamiento del espécimen para una distorsión de 0.0015 mm/mm. Los siguientes ciclos se realizaron aumentando en 0.002 mm/mm para cada incremento y su respectiva repetición. En la Tabla 2.2 se presenta la historia de carga utilizada en el espécimen M1-sr.

**Tabla 2.2 Historia de carga, ensaye a la falla,  $\sigma = 0.38 \text{ MPa}$  ( $3.88 \text{ kg/cm}^2$ ),  $V_{mR} = 42 \text{ kN}$  ( $4.25 \text{ t}$ )**

Ciclo	Descripción	V	V, t	$\gamma$ , mm/mm	Despl, mm
+1	Un cuarto de la carga estimada de agrietamiento, $V_{mR}$	$0.25 V_{mR}$	1		
-1	Un cuarto de $V_{mR}$ , ciclo negativo	$-0.25 V_{mR}$	-1		
+2	Repetición	$0.25 V_{mR}$	1		
-2	Repetición	$-0.25 V_{mR}$	-1		
+3	Un medio de $V_{mR}$	$0.5 V_{mR}$	2		
-3	Un medio de $V_{mR}$	$-0.5 V_{mR}$	-2		
+4	Repetición	$0.5 V_{mR}$	2		
-4	Repetición	$-0.5 V_{mR}$	-2		
+5	Buscar el agrietamiento inclinado	$\approx V_{mR}$	$\approx 4.25$	0.0015	1.88
-5		$\approx -V_{mR}$	$\approx -4.25$	-0.0015	-1.88
+6	D agrietamiento +			0.0015	1.88
-6	D agrietamiento -			-0.0015	-1.88
+7	Incrementos de 0.002			0.002	2.5
-7	Incrementos de 0.002			-0.002	-2.5
+8	Repetición			0.002	2.5
-8	Repetición			-0.002	-2.5
+9	Incrementos de 0.002			0.004	5
+9	Incrementos de 0.002			-0.004	-5
+10	Repetición			0.004	5
-10	Repetición			-0.004	-5
+11	Incrementos de 0.002			0.006	7.5
-11	Incrementos de 0.002			-0.006	-7.5
+12	Repetición			0.006	7.5
-12	Repetición			-0.006	-7.5
...	...				
		Hasta considerar 1) falla del modelo, 2) caída de más de 20% de la resistencia, 3) deformación excesiva (más de 0.012)			

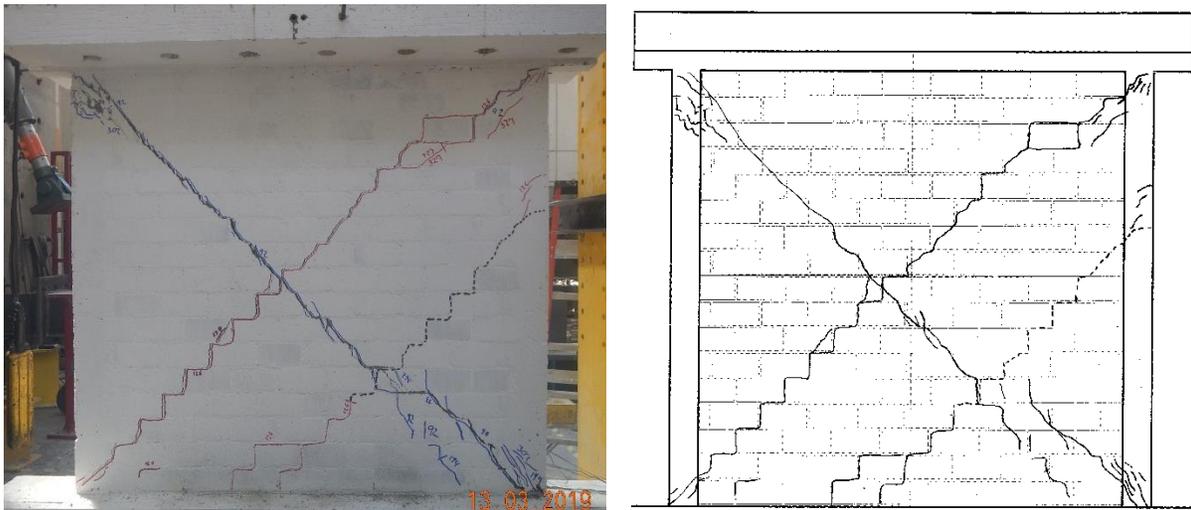
## CAPÍTULO 3

### RESULTADOS GENERALES DE LOS ENSAYES

#### 3.1 ESPÉCIMEN M1-sr

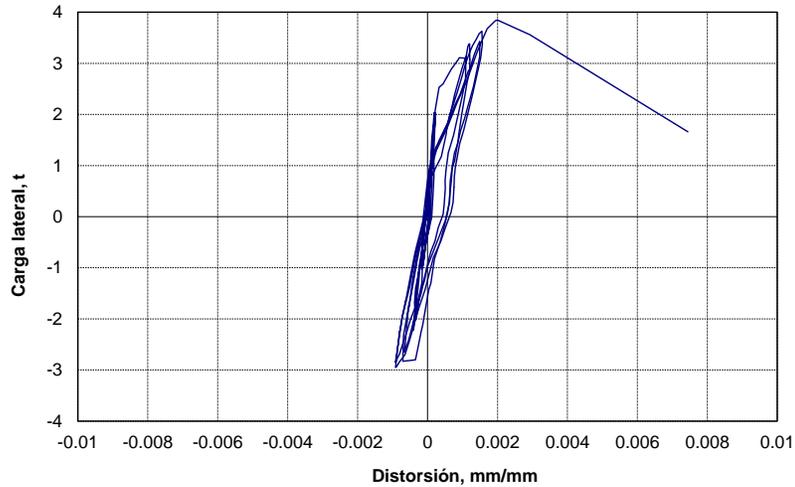
Para todos los ensayos se aplicó una carga vertical 2.91 t que se mantuvo constante durante todo el ensayo; esta corresponde a un esfuerzo de 3.88 kg/cm<sup>2</sup> que representa a la planta baja de un edificio de tres o cuatro niveles. Para el ensayo destructivo el espécimen se llevó ocho ciclos completos con semiciclo positivo empujando con el gato hidráulico y semiciclo negativo cuando se jalaba con el mismo.

En la Figura 3.1 se muestra el patrón de agrietamiento final. Este espécimen llegó a una carga lateral de 37.8 kN (3.85 t), con una distorsión lateral (desplazamiento horizontal en la losa dividido entre la altura del espécimen) de 0.002 mm/mm en los ciclos positivos y de -33.4 kN (-3.4 t) en los ciclos negativos. Esta última carga se registró cuando se hizo la descarga del ciclo final después de la falla, y no aparece en la curva de histéresis.



**Figura 3.1 Patrón de agrietamiento espécimen M1-sr**

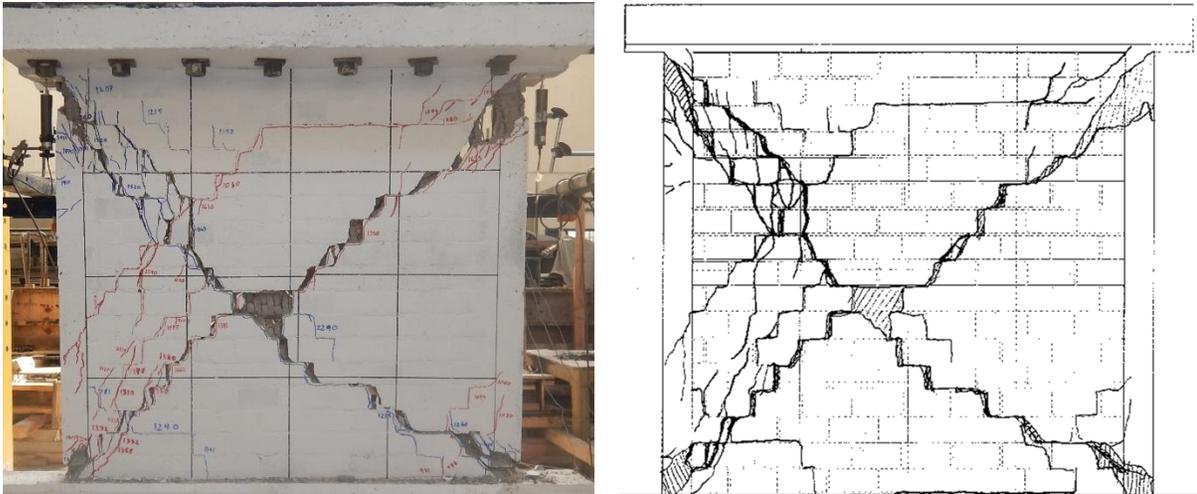
En la Figura 3.2 se presenta la curva de histéresis mostrada en términos de la distorsión angular (desplazamiento horizontal entre la altura) y la fuerza cortante horizontal aplicada.



**Figura 3.2** Curva de histéresis del espécimen M1-sr

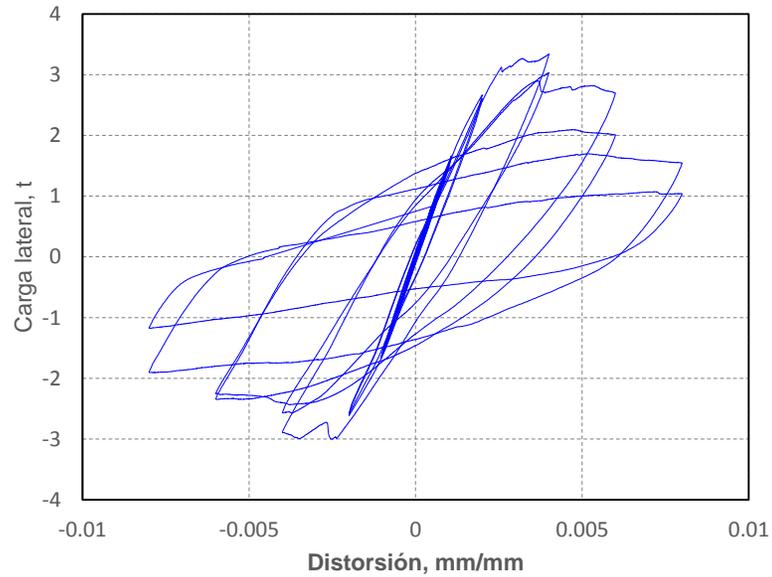
### 3.2 ESPÉCIMEN M2-sr

En la Figura 3.3 se muestra el patrón de agrietamiento final. Este espécimen llegó a una carga lateral en los ciclos positivos de 32.8 kN (3.34 t), distorsión 0.004 mm/mm medido en el actuador, y de -29.4 kN (-3.0 t), con distorsión de -0.0025 mm/mm en los ciclos negativos.



**Figura 3.3** Patrón de agrietamiento espécimen M2-sr

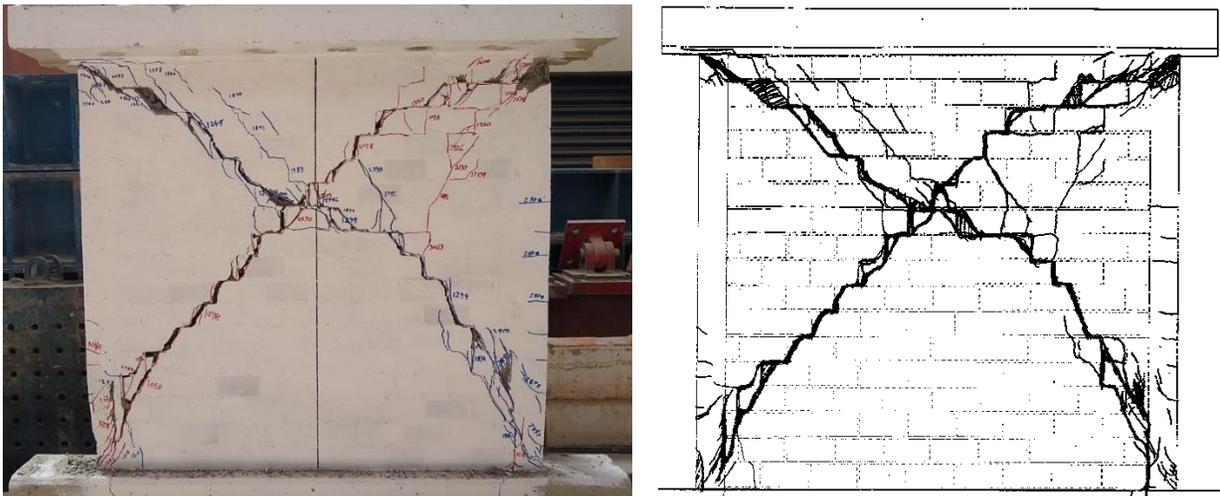
En la Figura 3.2 se muestra la curva de histéresis.



**Figura 3.4** Curva de histéresis del espécimen M2-sr

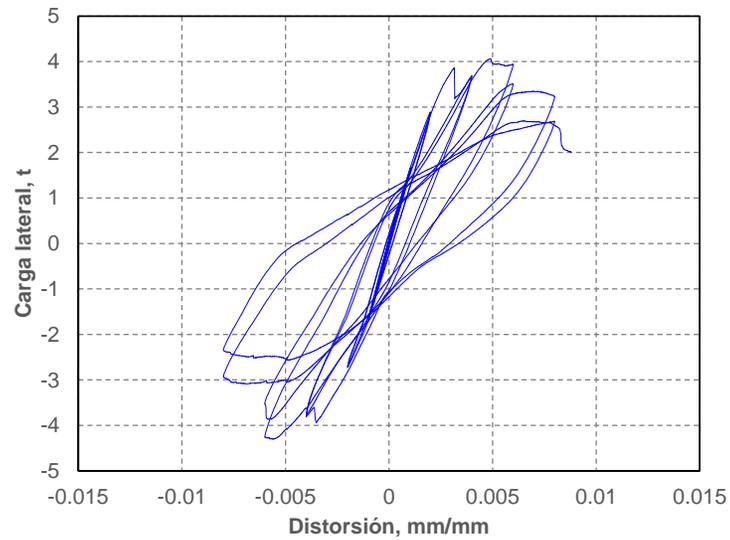
### 3.3 ESPÉCIMEN M3-sr

En la Figura 3.5 se muestra el patrón de agrietamiento final. Este espécimen llegó a una carga lateral en los ciclos positivos de 39.8 kN (4.1 t) para una distorsión de 0.0049 mm/mm medido en el actuador, y una carga de -42.2 kN (-4.3 t), con distorsión -0.0056 mm/mm en los ciclos negativos.



**Figura 3.5** Patrón de agrietamiento espécimen M3-sr

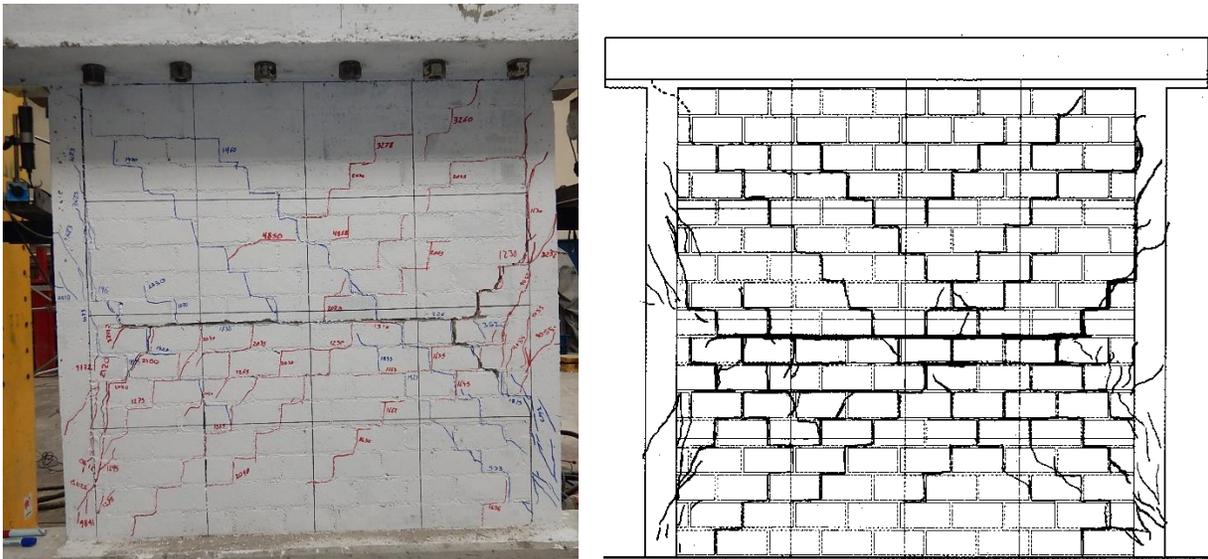
En la Figura 3.6 se muestra la curva de histéresis.



**Figura 3.6** Curva de histéresis del espécimen M3-sr

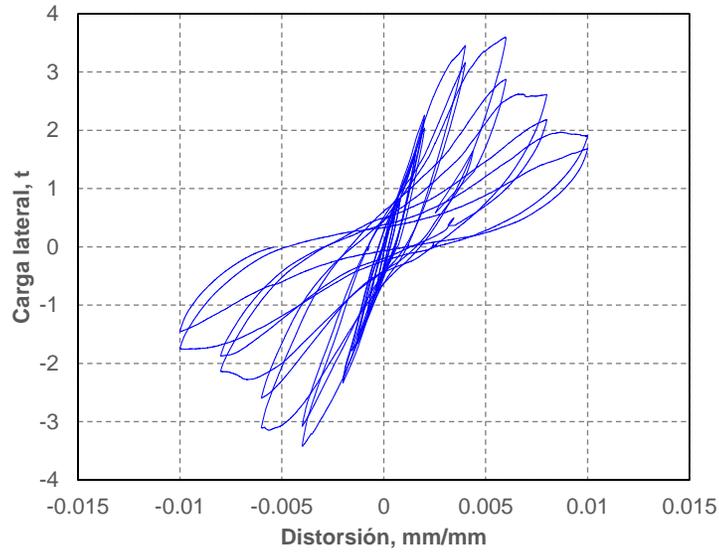
### 3.4 ESPÉCIMEN M1-cr

En la Figura 3.7 se muestra el patrón de agrietamiento final. Este espécimen llegó a una carga lateral en los ciclos positivos de 35.3 kN (3.6 t) para una distorsión de 0.006 mm/mm medido en el actuador, y una carga de -33.6 kN (-3.4 t), con distorsión -0.004 mm/mm en los ciclos negativos.



**Figura 3.7** Patrón de agrietamiento espécimen M1-cr

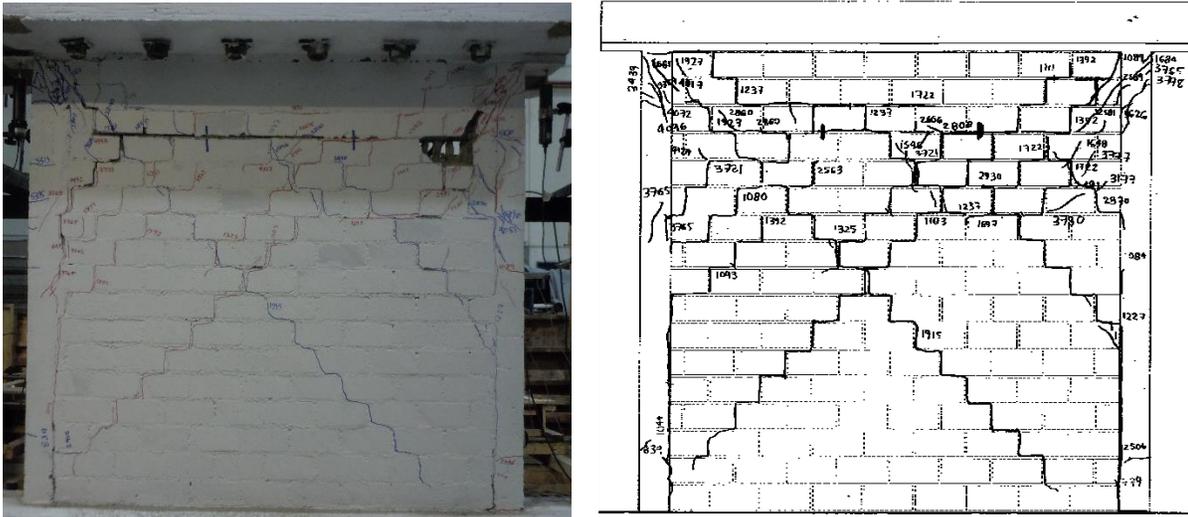
En la Figura 3.8 se muestra la curva de histéresis.



**Figura 3.8** Curva de histéresis del espécimen M1-cr

### 3.5 ESPÉCIMEN M2-cr

En la Figura 3.9 se muestra el patrón de agrietamiento final. Este espécimen llegó a una carga lateral en los ciclos positivos de 41 kN (4.2 t) para una distorsión de 0.008 mm/mm medido en el actuador, y una carga de -34.7 kN (-3.5 t), con distorsión -0.008 mm/mm en los ciclos negativos.



**Figura 3.9** Patrón de agrietamiento espécimen M2-cr

En la

Figura 3.10 se muestra la curva de histéresis.

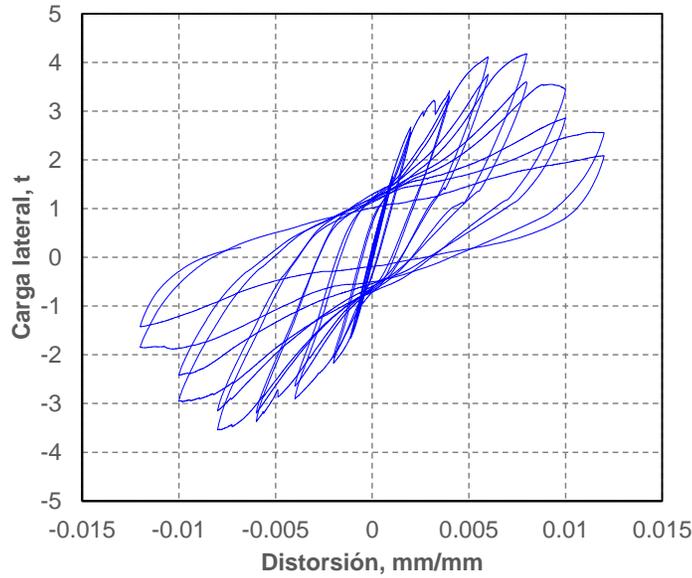


Figura 3.10 Curva de histéresis del espécimen M2-cr

### 3.6 COMPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES

En la Tabla 3.1 se enlistan los datos de los principales resultados de los ensayos realizados

Tabla 3.1 Comparativa de los resultados para los cinco especímenes

Especímen	Cálculo teórico		datos experimentales		$V_{max}^{(+)}$ t	$V_{max}^{(-)}$ t	$V_{agr}^{(+)}$ t	$V_{agr}^{(-)}$ t	$V_{máx}^{(+)}/V_R$	$V_{máx}^{(-)}/V_R$
	$V_{mR}$ t	$V_R$ t	$V_{mR}$ t	$V_R$ t						
M1-sr	4.3	4.3	3.4	3.4	3.8	-3.4	2.5	-2.8	1.11	1.00
M2-sr	4.3	4.3	3.4	3.4	3.3	-3.0	3.0	-3.0	0.97	0.88
M3-sr	4.3	4.3	3.4	3.4	4.1	-4.3	3.9	-3.9	1.20	1.26
M1-cr	4.3	7.5	3.4	6.3	3.6	-3.4	-	-	0.57	0.54
M2-cr	4.3	7.5	3.4	6.3	4.2	-3.5	3.4	2.1	0.67	0.56

Se observa que la predicción del agrietamiento,  $V_{agr}=V_{mR} = 4.3$  t, para el cálculo teórico usando el valor nominal de  $v_m'_{nominal} = 9$  kg/cm<sup>2</sup>, fue un cálculo sobrestimado de dicha carga y del lado no conservador. De los resultados de los muretes a compresión diagonal se obtuvo un esfuerzo resistente a cortante de  $v_m' = 6.6$  kg/cm<sup>2</sup>, con lo cual se recalcularon los valores de resistencia con las ecuaciones de las NTC-M, que en la Tabla 3.1 se identifica como “datos experimentales”, obteniendo un cortante de 3.4 t en los muros sin refuerzo y de 6.3 t cuando se suma el refuerzo horizontal.

## **CAPÍTULO 4**

### **CONCLUSIONES**

Se ensayaron cinco muros a escala 1:2 de mampostería confinada de piezas multiperforadas de concreto. Se instrumentaron los especímenes y se les aplicó una carga vertical constante mientras que se ensayaron ante carga horizontal cíclica reversible.

Como resultado de los ensayos se obtuvieron las curvas de histéresis carga distorsión angular lateral, rigideces, resistencias y el desarrollo del patrón de daño.

Dados los resultados de los ensayos realizados para el presente informe se puede concluir lo siguiente:

- Los especímenes presentaron un modo de falla por tensión diagonal debido a la fuerza cortante lateral generándose un patrón de grietas inclinadas. Sin embargo, los especímenes reforzados con alambres horizontales entre las hiladas exhibieron un mecanismo de falla final por deslizamiento horizontal en alguna de las juntas que llevaban acero de refuerzo. Este mecanismo de falla fue idéntico al observado en los ensayos de mesa vibradora realizados previamente de los modelos de tres niveles construidos con las mismas piezas.
- Las expresiones de cálculo actualmente usadas en las normas de mampostería NTC-M (GDF, 2017) y utilizando los valores de resistencia a cortante obtenidos de ensayos de muretes estimaron cercanamente las resistencias medidas experimentalmente en los muros sin refuerzo horizontal, pero el cálculo de la contribución del acero de refuerzo horizontal fue incorrecto ya que este no desarrolló su trabajo.
- La comparación entre los especímenes con y sin refuerzo horizontal mostró que no hubo diferencia en resistencia a fuerza cortante, esto debido al mecanismo de falla por deslizamiento en una junta de mortero; sin embargo, sí se observó un aumento en la capacidad de deformación no lineal en los muros reforzados.



## APÉNDICE A

### RESULTADOS DE ENSAYES DE MATERIALES

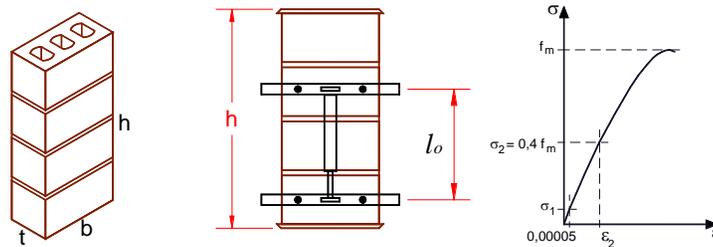
Para el estudio se programaron muestreos y ensayos de todos los materiales utilizados en la construcción de los especímenes. Las piezas fueron ensayadas a compresión simple, y se hicieron ensayos a compresión de pilas y muretes a compresión diagonal. Para el concreto se realizó el ensaye a compresión de cilindros muestreados durante la construcción de los castillos, losa y concreto de la base. Finalmente se ensayaron barras y alambres de acero a tensión.

#### A.1 COMPRESIÓN EN PILAS DE MAMPOSTERÍA

Para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería se prepararon cinco pilas de piezas sobrepuestas unidas con el mismo mortero usado en los muros. Estas pruebas se elaboraron siguiendo la mexicana para ensaye de pilas y muretes NMX-C-486-ONNCCE (2010).

La elaboración de los muretes y pilas de los primeros cuatro especímenes se hizo después de la construcción de los mismos, mientras que las pilas y muretes del quinto espécimen, que se hizo después para reemplazar el primer muro, se hicieron simultáneamente a la fabricación del espécimen. Los ensayos se hicieron cerca de la fecha de ensaye de los especímenes, con 286 días de edad en las probetas de los primeros muros y 121 días para el espécimen M3-sr (Muro 5).

Para la construcción de las pilas se unieron cuatro piezas con lo cual la relación altura a espesor fue en promedio de 4.5, por lo que el factor correctivo usado fue de 1.02. Las pilas se cabecearon con un yeso especial en las piezas extremas para garantizar una superficie uniforme contra la máquina de ensaye.



**Figura A.1** *Ensayo de pilas a compresión*

Los valores de diseño se obtuvieron reduciendo los esfuerzos resultantes de las pruebas, de forma tal que la probabilidad de que no se alcancen estos valores sea baja. El esfuerzo de diseño,  $f_m'$ , se obtuvo aplicando la ecuación A.2, donde  $\overline{f_m}$  es el la media de las resistencias y  $c_m$  es el coeficiente de variación que no se debe tomar menor que 0.15.

$$f_m' = \frac{\overline{f_m}}{1 + 2.5 c_m} \quad (A.1)$$

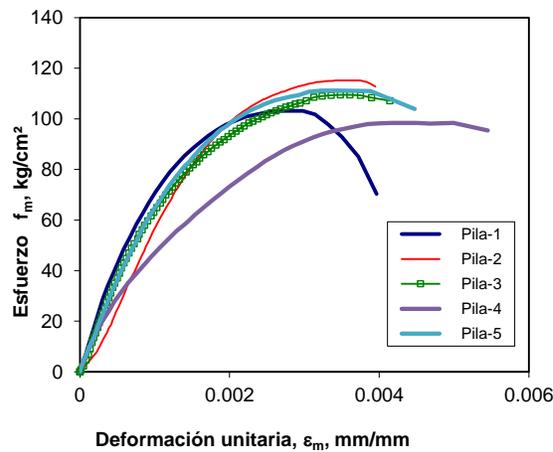
En la Tabla A.1, se muestra un resumen de los resultados obtenidos.

El módulo de elasticidad se calcula como está definido en la misma norma mexicana, como la pendiente de la secante que pasa por un punto de la gráfica al 40% de la resistencia. En la Tabla A.1 se presenta el módulo de cada pila y una correlación respecto a la resistencia de dicha pila. La variable  $\epsilon_{fm}$  es la deformación unitaria registrada en la carga máxima.

**Tabla A.1 Resultados de ensayos de pilas a compresión**

Pila	Dimensiones, cm					Área bruta cm <sup>2</sup>	Carga, kg	Esfuerzo bruto, $f_m$ kg/cm <sup>2</sup>	Módulo elast $E_m$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_m/f_m$	$\epsilon_{fm}$ mm/mm
	t	b	h	$l_{0,1}$	$l_{0,2}$						
Pila-1	6.0	12.1	27.8	16.1	16.9	72.6	7490	103.17	86640	840	0.00298
Pila-2	6.0	12.0	27.3	14.9	15.2	72.0	8290	115.14	56831	494	0.00374
Pila-3	6.0	12.0	26.3	14.8	14.8	72.0	7880	109.44	74817	684	0.00361
Pila-4	6.0	12.0	26.2	14.4	15.0	72.0	7080	98.33	48046	489	0.00499
Pila-5	6.0	12.0	27.3	14.7	15.0	72.0	8000	111.11	69578	626	0.00347
Promedios	6.0	12.0	27.0					<b>107.4</b>	<b>67182.4</b>	<b>626</b>	<b>0.0038</b>
Desv. est.								<b>0.06</b>	<b>0.23</b>	<b>0.23</b>	<b>0.20</b>

Usando el coeficiente de corrección por esbeltez para el promedio de la resistencia a compresión y aplicando la ecuación A.2 con el coeficiente de variación de  $c_m = 0.15$ , el esfuerzos de diseño fue  $f_m' = 7.9$  MPa (80.1 kg/cm<sup>2</sup>).



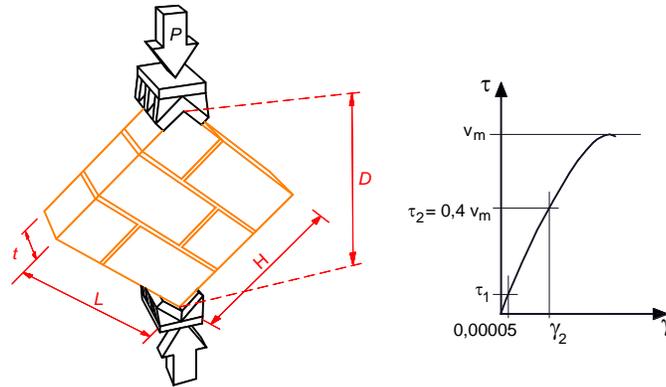
**Figura A.2 Ensayo de pilas a compresión**

## A.2 COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES

Se construyeron seis muretes de mampostería con las mismas piezas usadas para la construcción de los muros y fueron ensayadas a compresión diagonal siguiendo los requisitos de la norma mexicana para ensayo de pilas y muretes NMX-C-486-ONNCCE (2010). Los muretes tuvieron forma aproximadamente cuadrada con una y media pieza de largo en la base por cinco hiladas de altura y se ensayaron aplicando la carga de compresión a través de una de sus diagonales. Para aplicar la carga el murete se usaron dos cabezales de acero especialmente contruidos a escala, para colocarlos en una posición a 45°, con su diagonal en posición vertical.

El objeto de esta prueba es determinar la resistencia a compresión diagonal,  $v_m$ , que se toma como esfuerzo resistente a cortante. Para calcular este esfuerzo cortante se divide la carga registrada entre el área de la diagonal ( $v = P/A$ , donde  $A = t D$ , según se acota en la Figura A.3).

Se presentó el modo de falla en una trayectoria aproximadamente por la diagonal donde la grieta atravesó algunas piezas. El esfuerzo cortante resistente de diseño  $v_m'$ , se calculó utilizando la ecuación A.3 (CDMX, 2017), donde  $\bar{v}_m$  es el la media de las resistencias medidas y  $c_v$  es el coeficiente de variación que no se debe tomar menor que 0.2.



**Figura A.3** Esquema y foto de la prueba de murete a compresión diagonal

$$v_m' = \frac{\overline{v_m}}{1 + 2.5 c_v} \tag{A.2}$$

En la Tabla A.2 se presentan los resultados de los muretes ensayados. Las longitudes  $L$  y  $H$  son el largo y la altura del murete, respectivamente;  $D$  es la dimensión de la diagonal cargada y  $t$  el espesor del murete, (ver Figura A.3). En la tabla se incluye el cálculo del esfuerzo de diseño para cada probeta.

**Tabla A.2** Resultados de ensayos de muretes a compresión diagonal

Murete	Dimensiones, cm				Área diag. $A = t \cdot D$ , cm <sup>2</sup>	Carga $P$ , kg	Esfuerzo, $v$ , kg/cm <sup>2</sup>
	$L$	$H$	$t$	$D$			
Mur-1	18.8	19.8	6.0	26.9	161.4	1410	8.74
Mur-2	18.9	19.6	5.9	27.0	159.3	1680	10.55
Mur-3	18.9	19.9	5.9	27.3	161.1	1580	9.81
Mur-4	18.5	19.4	6.0	26.2	157.2	1530	9.73
Mur-5	18.6	19.6	6.0	26.5	159.0	1690	10.63
Promedio							9.89
Coef de variación							0.08

El promedio de los ensayos fue de 1.0 MPa (9.89 kg/cnm<sup>2</sup>) con un coeficiente de variación de 0.08; considerando el coeficiente de variación mínimo de  $c_v = 0.2$ , el esfuerzo de diseño por compresión diagonal resultó de  $v_m' = 0.65$  MPa (6.6 kg/cm<sup>2</sup>).

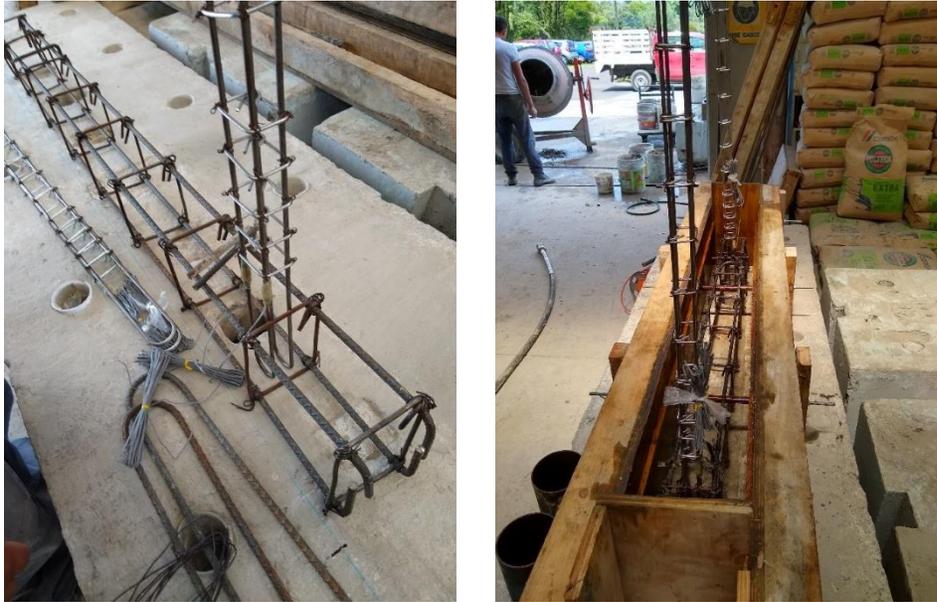
Aprovechando las probetas de muretes estas se pesaron y se obtuvieron valores de peso volumétrico bruto resultando de 1.79 t/m<sup>3</sup>.



## APÉNDICE B

### CONSTRUCCIÓN DE ESPECÍMENES

Los especímenes se construyeron sobre vigas de cimentación de 80×50×300 cm que sirvieron para traslados en el laboratorio y la sujeción al piso de reacción. Sobre estas se construyeron cadenas de desplante ancladas a la viga de cimentación por barras que descienden a huecos en las vigas. Las cadenas sirvieron para dar el anclaje y condición de empotramiento en la base de los castillos. El armado de la cadena de desplante y de los castillos se puede observar en la Figura B.1, así como la cimbra usada.



**Figura B.1 Armado de cadena inferior y castillos, cimbra de la cadena de desplante**

Los muros se construyeron con juntas de mortero de 6 mm. El mortero fue tipo I con dosificación 1:¼:3 en volumen (cemento, cal, arena cribada). Se levantaron nueve hiladas los muros (hasta la mitad) y se colaron las mitades de castillos; se completaron las hiladas y se colaron la altura restante de los castillos (Figura B.2).



**Figura B.2 Construcción de los muros: a) pegado de tabiques, b) cimbra y colado de castillos**

Como última etapa se cimbraron las losas superiores y se colocó el armado de las mismas así como el armado de la dala superior. En la cimbra se colocaron ductos de PVC a cada 20 cm para la sujeción a la viga de acero de transmisión de carga. Finalmente se hizo el colado de la losa y dala (Figura B.3).



**Figura B.3 Armado, cimbra y colado de las dalas y losas superiores de los muros**

## REFERENCIAS

Flores L.E., Guzman L.A. (2015), “Construcción y ensaye de un muro de mampostería confinada con refuerzo horizontal escala 1:2”, Informe interno, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, 35 pp.

Flores L.E., Pérez Gavilán J.J. (2016), “Ensaye de en mesa vibradora de dos edificios de mampostería confinada a escala 1:2, con distinta cuantía del refuerzo horizontal”, Informe interno, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, 45 pp.

Gobierno de la Ciudad de México (CDMX, 2017), “Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería”, Gaceta Oficial de la Ciudad de México, No. 220-Bis, 15 de diciembre de 2017, pp. 614-688.

Pérez Gavilán J.J. (2017), “Propuesta para obtener la pieza a escala del BH12”, documento interno de trabajo, Instituto de Ingeniería.