



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**REHABILITACIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERÍA  
CONFINADA DE BLOQUE HUECO, MEDIANTE  
ALAMBRES HORIZONTALES Y CAPA DE MORTERO.**

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN ESTRUCTURAS**

PRESENTA:

**ING. JUAN PABLO SEBASTIAN ROMERO PÉREZ**

DIRECTOR DE TESINA: **M. I. LEONARDO E. FLORES CORONA**

MÉXICO, D.F.

MARZO 2021

# Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	iv
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos .....	1
2 ANTECEDENTES .....	3
3 DISEÑO DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL .....	7
3.1 Geometría de los especímenes.....	7
3.1.1 Resistencia a compresión de piezas.....	8
3.1.2 Resistencia a compresión de la mampostería. ....	8
3.1.3 Ensaye a compresión diagonal .....	9
3.1.4 Variables de estudio .....	10
3.1.5 Propiedades de los materiales (Nominales).....	11
3.2 Predicción de resistencia y rigidez de los modelos originales.....	12
3.2.1 Resistencia a flexocompresión .....	12
3.2.2 Resistencia a cortante de muros sin refuerzo horizontal .....	13
3.2.3 Resistencia a cortante por fricción .....	14
3.2.4 Resistencia esperada en cada espécimen .....	15
3.2.5 Rigidez de los muros .....	15
3.2.6 Propuesta del cálculo de resistencia de los muros rehabilitados .....	16
4 PREPARACIÓN DE LOS MODELOS .....	19
4.1 Construcción de los especímenes .....	19
4.2 Reparación de los especímenes .....	20
4.3 Instrumentación .....	21
4.4 Sistema de aplicación de cargas .....	22
4.5 Historia de carga.....	23
5 RESULTADOS DE LOS ENSAYES .....	24
5.1 Resultados de ensayos de materiales .....	24
5.1 Corrección de predicciones de resistencia y rigidez con valores experimentales .....	25
5.2 Espécimen MBC-1 .....	26
5.3 Espécimen MBC-1R.....	27

5.4	Espécimen MBC-2 .....	28
5.5	Espécimen MBC-2R.....	29
5.6	Envolventes de las curvas de histéresis .....	30
5.7	Comparación de los resultados teóricos con los experimentales.....	34
5.8	Discusión de los deformímetros electrónicos del MBC – 2R .....	34
6	CONCLUSIONES.....	36
7	APÉNDICE A – RESULTADOS DE ENSAYES DE MATERIALES.....	37
7.1	Geometría y ensayos a compresión de bloques de concreto.....	37
7.1.1	Geometría de las piezas .....	37
7.1.2	Ensayos de piezas a compresión.....	37
7.2	Compresión en pilas de mampostería.....	39
7.3	Compresión diagonal en muretes .....	41
7.4	Compresión en cubos de mortero .....	42
7.5	Compresión en cilindros de concreto .....	44
8	BIBLIOGRAFÍA.....	46

# AGRADECIMIENTOS

---

A mis padres, Gloria y José, por su infinito apoyo y amor incondicional

A todos los profesores que lograron inculcar la pasión sobre las estructuras, la seguridad y el bienestar de todos.

Al M.I. Leonardo Emmanuel Flores Corona, de quien he aprendido mucho del comportamiento en mampostería, por su orientación y apoyo constante en este trabajo.

Al CENAPRED por dejarme utilizar el laboratorio de Estructuras Grandes y poder realizar la experimentación.

A los señores Benito y Marcos, quienes realizaron el trabajo de instrumentación y construcción de los especímenes.

# 1 INTRODUCCIÓN

---

Debido a la gran actividad sísmica en la que se encuentra el territorio mexicano y teniendo en cuenta que las viviendas de mampostería son las tradicionalmente más usadas, por sus beneficios económicos y de construcción sin la necesidad de una alta complejidad técnica, es necesario tener técnicas de rehabilitación y reforzamiento en elementos de mampostería para el caso en que sufran daños por fenómenos naturales.

Uno de los objetivos del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), desde su fundación en 1988, es llevar a cabo la investigación en el comportamiento de técnicas que permitan rehabilitar la vivienda dañada. Comúnmente se ha utilizado la opción de reforzar muros con malla de alambre y capa de mortero, pero en la búsqueda de hacer accesible a las comunidades de bajos recursos se ha pensado en una nueva forma de reforzar muros dañados.

En este trabajo existen distintas variables de estudio, una de ellas es el uso de alambres de alta resistencia colocados horizontalmente por fuera del muro y su anclaje a los castillos, con doblez a  $90^\circ$  o a  $180^\circ$ , con el objetivo de encontrar alguna diferencia remarcable por el uso de estos. Estas opciones están previstas para muros a los que no se tenga pleno acceso a ambas caras, como los muros en colindancias

Además, se tendría en cuenta el uso de materiales comunes que se encuentran en casas de materiales, que cumplan con características mínimas como peso, dimensiones, resistencia a compresión, etc., algunas especificadas en normas como la NMX-C-036, NMX-C-404, entre otras, así como piezas industriales de alto control de calidad. En ambos casos se observaron comportamientos satisfactorios al incrementar en casi el doble las resistencias y sus capacidades de deformación.

Este trabajo fue desarrollado dentro del marco de investigación dirigido por el M.I. Leonardo Emmanuel Flores Corona que forma parte de la Subdirección de Vulnerabilidad Estructural del Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Mi participación directa fue en el ensaye del espécimen MBC-2R durante las etapas de presentado ante el muro de reacción, instrumentación y ensaye hasta la falla del mismo. De igual manera los análisis aquí presentados, las curvas de histéresis, las curvas de capacidad y los deformímetros electrónicos. En la obtención de datos de los primeros 3 muros (MBC-1, MBC-1R y MBC-2), le agradezco al M.I. Leonardo E. Flores C. por proporcionármelos y guiarme en la interpretación de la información técnica.

Para las pruebas de piezas, pilas, muretes, cubos de mortero y cilindros de mortero se encargó el personal de laboratorio, así como la reparación de los muros y su reforzado con alambres horizontales y capa de mortero.

## 1.1 Objetivos

- Verificar y comparar resistencias ante carga horizontal cíclica reversible de muros de mampostería confinada de bloque de concreto hueco de distintas calidades de fabricación.
- Evaluar la rigidez inicial y la degradación de rigidez con el daño en los especímenes.
- Evaluar la técnica de rehabilitación con alambres horizontales anclados con capa de mortero.
- Estudiar curvas fuerza – deformación (histéresis)

- Definir si esta técnica de rehabilitar solo con barras externas y mortero es suficiente para proporcionar al comportamiento en rigidez, resistencia, capacidad de deformación entre otras características en su comportamiento.
- Proporcionar una técnica de rehabilitación que tenga en cuenta procesos constructivos con una calidad semejante a la autoconstrucción, para obtener resultados cercanos a dichas condiciones.

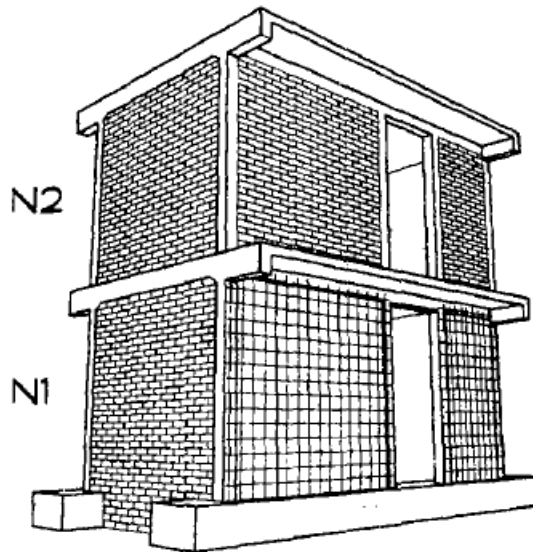
## 2 ANTECEDENTES

---

No es ajeno a la humanidad o cualquier especie que después de una experiencia negativa, como lo fue el sismo de 1908 en la ciudad de Messina, en la isla de Sicilia, Italia, la que originó en la creación de la mampostería confinada, se creen nuevas medidas o acciones para adaptarse en futuro y no sufrir de nuevo las consecuencias.

De forma similar se creó el CENAPRED con apoyo del gobierno japonés, después del sismo de México de 1985, para estudiar y prevenir grandes daños económicos y sociales en el país. Pues no solo la mampostería es la opción tradicional a la solución de viviendas económicas, sino que aun la gran mayoría esta reforzada mediante el confinamiento (donde los paneles de piezas unidas por mortero, se rodean por castillos y dalas, garantizando un buen comportamiento ante acciones accidentales), pero también es comúnmente usada que la mampostería reforzada interiormente.

Por ello desarrollar técnicas de rehabilitación de acuerdo a esta gran “población” de muros confinados, era necesario pensar en no afectar la economía de miles de familias mexicanas, desarrollando un método probado para viviendas, como lo es la malla de alambre con capa de mortero, (Ruiz, J. A. Zepeda, & S. Alcocer, 1994).



*Figura 2.1 Reparación de modelo 3D a escala natural en 1994<sup>1</sup>.*

Esta técnica ha sido estudiada mediante la rehabilitación de muros diafragma (Flores L, 1999), estos últimos son utilizados para rigidizar marcos de concreto o acero estructurales, y conforme a la normatividad reciente del 2017, se comprobó el comportamiento en otra serie de estudios (Flores, 2019).

Otros estudios de rehabilitación con malla y mortero han explorado los detalles técnicos como el tener aberturas en muros, ya sean estructurales o no, debido a que estos también sufren daños en los casos de

---

<sup>1</sup> Imagen tomada del informe (Ruiz, J. A. Zepeda, & S. Alcocer, 1994), donde se trata la reparación y el comportamiento de una estructura representativa en 3D a escala natural.

viviendas autoconstruidas. Una parte de la investigación ha sido orientada al comportamiento y recomendaciones sobre la rehabilitación, de las cuales algunas de ellas sirvieron para comprobar las NTC de mampostería de 2017-2020 (Flores, Mendoza, Ríos, & Reyes, 2004).

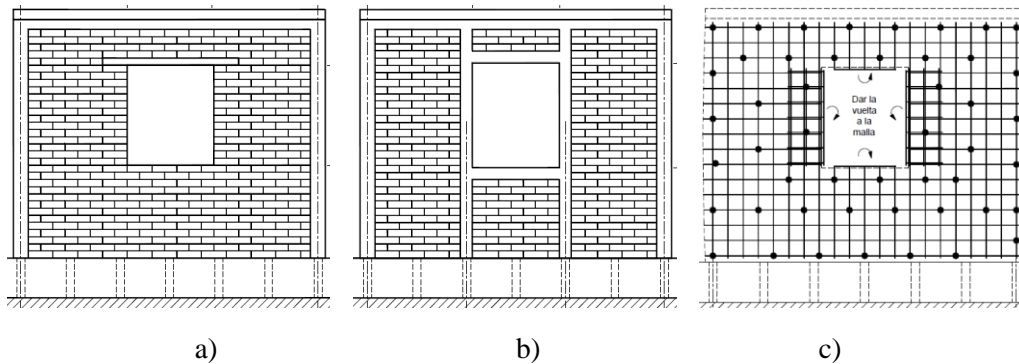


Figura 2.2 a) Muro sin las recomendaciones de la norma; b) muros con elementos de confinamiento en la periferia de la abertura; c) croquis de la malla de rehabilitación.<sup>2</sup>

De forma semejante, se estudió el comportamiento de la mampostería confinada, con aberturas, teniendo en cuenta una geometría distinta, pero que suele ser común en muros de habitaciones con ventana en la parte central y un castillo en medio del segmento de muro a donde llega otro muro perpendicular (Flores & Mendoza, 2006).

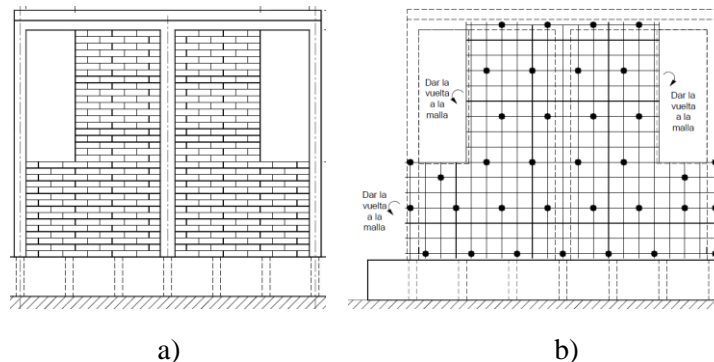


Figura 2.3 a) Geometría del muro de interés; b) croquis de la malla de refuerzo.<sup>3</sup>

Tras los sismos del 7 de septiembre con epicentro en el estado de Chiapas y el de 19 de septiembre de 2017, con epicentro en el estado de Puebla, se generaron daños en viviendas, edificios escolares entre muchos más. Esto preocupó a las autoridades nacionales en materia de seguridad ciudadana y con el interés de proteger a las comunidades más vulnerables en las entidades de Chiapas y Oaxaca, es necesario hacer que las técnicas de rehabilitación lleguen a la gente de manera que pueda aplicarla sin la complejidad técnica como obstáculo.

<sup>2</sup> Figuras tomadas de la referencia (Flores, Mendoza, Ríos, & Reyes, 2004), donde se revisa el estudio de muros con aberturas

<sup>3</sup> Figuras tomadas de (Flores & Mendoza, 2006), donde se estudió un muro de interés arquitectónico común.



El método de rehabilitación con malla y mortero tiene cierta complejidad técnica, por lo que con el uso de alambres externos horizontales y una capa de mortero se intenta simplificar la rehabilitación buscando tener un buen comportamiento ante sismo, en otras palabras, buena capacidad resistente y en deformación.



### 3 DISEÑO DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL

#### 3.1 Geometría de los especímenes

Para este estudio se usaron bloques huecos de concreto con dimensiones típicas utilizadas en muros estructurales, pero al ser de distintos fabricantes se tienen diferencias en las calidades. La nomenclatura utilizada en este trabajo es un acrónimo de: Muro de Bloque Confinado seguida de una enumeración para su identificación.

El muro MBC-1 se construyó con bloques de doble hueco comunes en el mercado, resultando de resistencias bajas a la compresión como después se confirmó. El muro MBC-2 se construyó con bloques de concreto pesados de la empresa IBM (Industrial Bloquera Mexicana).

La geometría de las piezas se muestra en la Figura 3.1 con las dimensiones de fabricación de 12×19×39 cm (ancho, altura y largo) y dimensiones nominales de 12×20×40 cm incluyendo las juntas de mortero. De la misma manera en la Figura 3.2 se tienen dimensiones de 12×20×40 cm en la fabricación y 12×21×41 cm con las juntas de mortero.

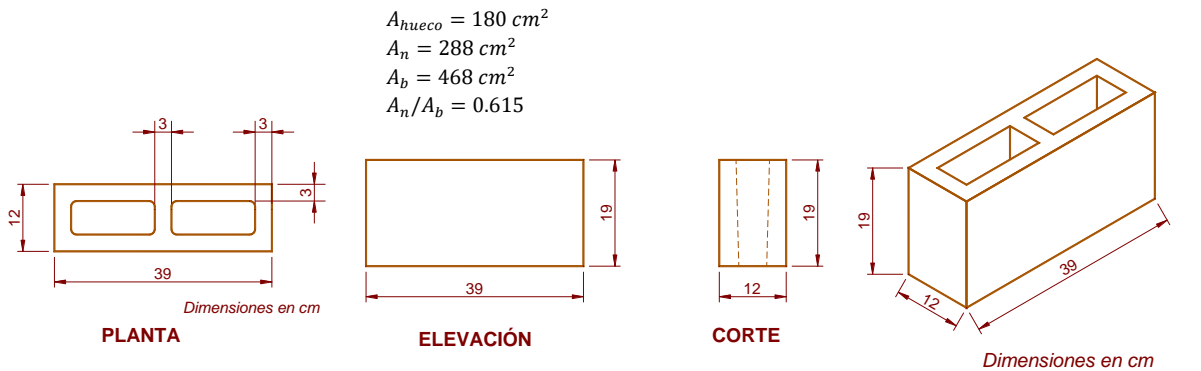


Figura 3.1 Piezas de concreto vibrocomprimido doble hueco MBC-1

Pieza doble hueco

$A_{\text{hueco}} = 113.75 \text{ cm}^2$   
 $A_n = 252.5 \text{ cm}^2$   
 $A_b = 480 \text{ cm}^2$   
 $A_n/A_b = 0.526$

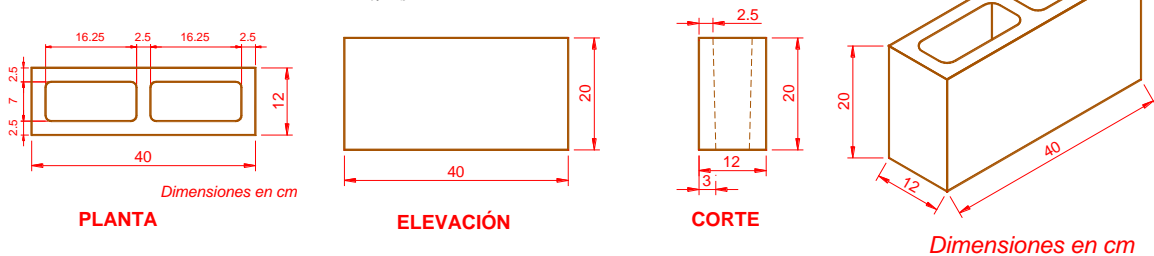


Figura 3.2 Piezas de concreto hueco MBC-2 de la IBM

El ancho de la pieza, y por lo tanto del muro es de  $t = 12$  cm. Como se ve las piezas vibrocomprimidos cumplen la norma con las dimensiones nominales, mientras las piezas de la IBM no lo cumplen del todo.

### 3.1.1 Resistencia a compresión de piezas

Para caracterizar a los bloques se realizaron ensayos de piezas a compresión según la norma mexicana NMX-C-063; las piezas se cabecearon con yeso especial de alta resistencia en sus caras de apoyo horizontales. En resumen, para la predicción de resistencia se utilizó una resistencia nominal de  $f'_{pMBC-1} = 40 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'_{pMBC-2} = 60 \text{ kg/cm}^2$ . Experimentalmente se obtuvieron valores de  $f'_{pMBC-1} = 28.8 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'_{pMBC-2} = 72 \text{ kg/cm}^2$ , de estos valores se explica su obtención en el Apéndice A.

### 3.1.2 Resistencia a compresión de la mampostería<sup>4</sup>.

Para obtener la resistencia de diseño de los muros es necesario realizar ensayos de probetas construidas con piezas unidas por una junta de mortero horizontal. Estas probetas se denominan pilas y están descritas en la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE. Se construyeron pilas de tres piezas enteras sobrepuestas, con el mismo mortero con que se construyeron los muros. La geometría de las probetas se muestra en la Figura 3.3.

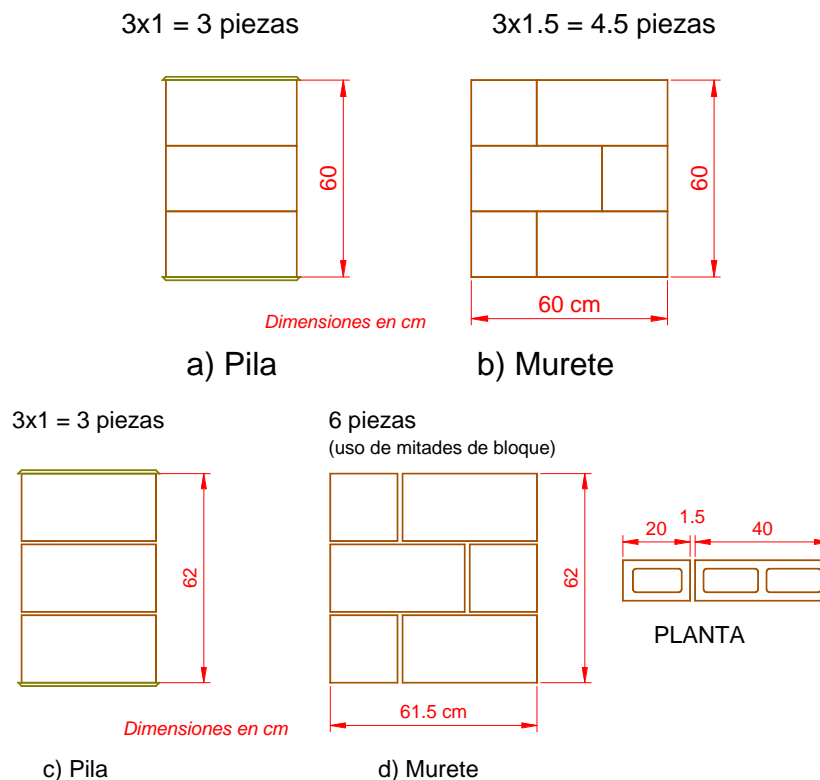


Figura 3.3 Probetas para ensayo a compresión y compresión diagonal de mampostería, piezas del MBC 2

<sup>4</sup> Los resultados experimentales de las pilas y muretes se muestran en el Apéndice A

### 3.1.3 Ensaye a compresión diagonal

Para evaluar la resistencia de muros de mampostería ante fuerza horizontal se realizó el ensaye de especímenes cuadrados de tamaño reducido (muretes) sometidos a compresión a lo largo de una de sus diagonales. Dicho ensaye genera un agrietamiento a lo largo de la diagonal cargada que puede o no combinarse con una falla por adherencia y deslizamiento entre las juntas de mortero y las piezas.

Siguiendo los requerimientos de las normas de mampostería del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2017), así como la norma mexicana de ensaye de muretes y pilas NMX-C-464-ONNCCE el tamaño mínimo del murete será de una y media piezas en la base y el número de hiladas necesario para que sea cuadrado. Conviene probar los muretes más pequeños posibles de forma de tener un tamaño manejable (62×62 cm).

Normalmente, para tabiques u otras piezas de tamaño reducido (por ejemplo de 40×40 cm) se realiza el ensaye en máquinas de pruebas o máquinas universales; sin embargo, el murete de 60 cm de lado no cabe en la máquina del CENAPRED por lo que fue necesario montar un marco de carga especial. En la Figura 3.4 se muestra el arreglo de carga para ensayar a compresión diagonal un murete en un marco de carga.

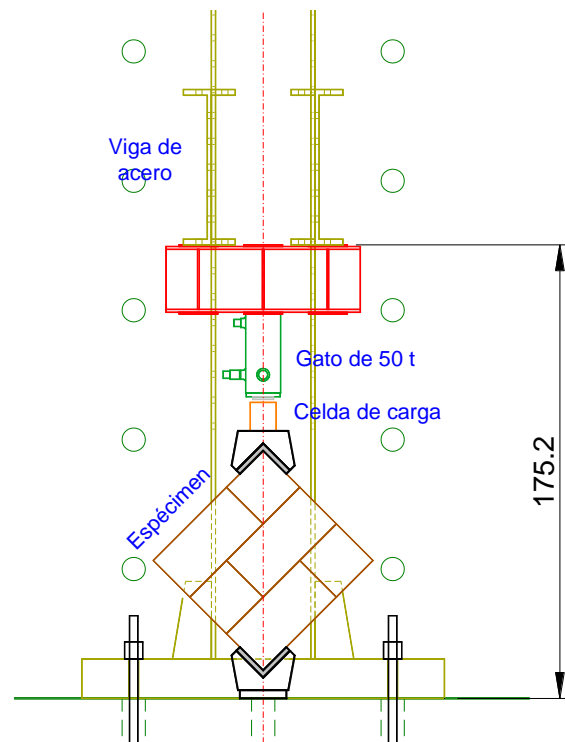


Figura 3.4 Dimensiones de los muretes a compresión diagonal.

Para fines de caracterizar el comportamiento ante fenómenos como sismo y viento, que producen fuerzas horizontales, se realizó la construcción y ensaye de muros a tamaño natural ensayados ante fuerza horizontal cíclica que representaría el efecto de un sismo.

### 3.1.4 Variables de estudio

Las variables a estudiar se identifican como las siguientes:

Resistencia de las piezas: en esta etapa se usarán piezas doble hueco

- Mortero de pega: se estudió mortero tipo I hecho en obra.
- Relación de aspecto: se estudió solo muros cuadrados ( $H/L = 1$ ).
- Tipo de ensaye: muros de carga ante fuerza horizontal cíclica reversible cuasi-estática.
- Castillos externos. Los castillos se reforzaron con cuatro barras del número 4 para evitar la falla por flexión.
- Tipo de anclaje del acero de refuerzo para la rehabilitación de los muros.

Los especímenes son mostrados en la Tabla 3.1, sus dimensiones fueron de 250×240 para el MBC-1 y de 255×252 cm para el MBC-2. Los muros se reforzaron con barras corrugadas del #2 (1/4 de pulgada) a una distancia de 2 hiladas, más un desfase a la junta (5 cm respecto a la junta horizontal de una hilada).

Para el MBC – 1R se utilizó doble refuerzo de alambres horizontales, tanto en la cara norte donde se tiene un desfase de 5 cm por debajo de la junta, como en la cara sur con 5 cm por encima de la junta; los alambres llegan a orificios al centro del castillo y fueron rellenados con mortero. Se cubrió con capa de mortero de 25 mm en ambas caras.

En el MBC – 2R solo se reforzó la cara norte con los alambres a cada 2 hiladas, que en este caso por tener bloques 1 cm más altos fue una distancia de 42 cm, con el desfase de 5 cm de la junta. La capa de mortero se colocó en la cara norte con el espesor de 25 mm. En ambos muros se utilizó una dosificación para un mortero Tipo I.

Tabla 3.1 Número y características de especímenes ensayados a carga lateral cíclica

No.	Nombre	Modalidad de refuerzo	Refuerzo en extremos	Refuerzo horizontal	$p_h \times f_{yh}$ kg/cm <sup>2</sup>	Anclaje en extremos
1	MBC – 1	Confinado	castillos 4#4	---	0	
2	MBC – 2	Confinado	castillos 4#4	---	0	
3	MBC - 1R			2#2@40	7.93	gancho a 90°
4	MBC - 2R			1#2@42	3.77	gancho a 180°

Los muros se desplantaron sobre vigas de cimentación de concreto reforzado de 80×50 cm y se les conectó en su parte superior una viga o cabezal de 45×40 cm. En la *Figura 3.5* se muestra la geometría representativa de los muros y el refuerzo, mientras que se muestra la sección transversal en la *Figura 3.6*.

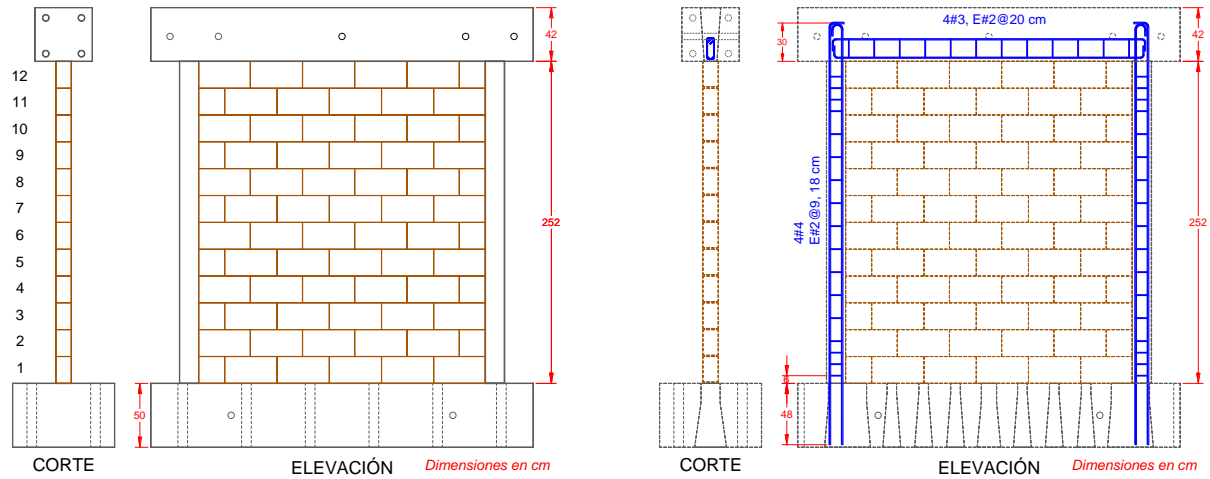


Figura 3.5 Geometría representativa de los especímenes confinados (en imagen MBC-1)

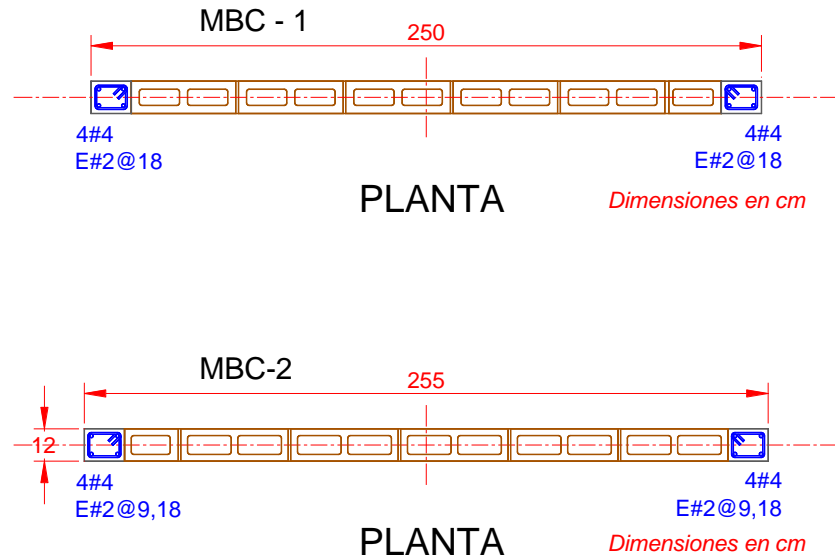


Figura 3.6 Sección transversal y armado vertical de los especímenes

### 3.1.5 Propiedades de los materiales (Nominales)

Las propiedades nominales de los materiales fueron:

- \* Concreto de vigas de cimentación  $f_c' = 600 \text{ kg/cm}^2$
- \* Concreto de anclaje a cabezal y cimentación  $f_c' = 300 \text{ kg/cm}^2$

En la Tabla 3.2 se indican los valores correspondientes a los muros originales (no dañados)

Tabla 3.2 Propiedades de los materiales (nominales)

No.	Nombre	Concreto (castillos)		Piezas		Acero (castillos)
		$f'_c$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$f'_p$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$f'_m$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$v'_m$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [kg/cm <sup>2</sup> ]
1	MBC - 1	150	40	20	3.5	4200
2	MBC - 2	250	60	50	3.5	4200

En la siguiente tabla se muestra los materiales de reparación utilizados

Tabla 3.3 Materiales de reparación

No.	Nombre	Mortero (Tipo I)	Acero Horizontal
		$f'_j$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [kg/cm <sup>2</sup> ]
3	MBC - 1R	125	6000
4	MBC - 2R	125	6000

### 3.2 Predicción de resistencia y rigidez de los modelos originales

Para la planeación del ensaye fue necesario diseñar un marco de carga (el cual dotará de carga de compresión al muro), la selección de instrumentos (por su rango de lectura) y la historia de carga (conocer un estimado de la carga o una distorsión a la falla).

Para esto fue necesario conocer valores distintos, resistencia máxima, deformación de agrietamiento, a la fluencia y deformación máxima, a posibles modos de falla del muro: 1) por flexión, 2) por tensión diagonal debido a fuerzas cortantes y 3) por deslizamiento en la base.

#### 3.2.1 Resistencia a flexocompresión

##### 3.2.1.1 Resistencia a compresión

La resistencia a carga vertical  $P_R$  se calcula con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, NTC-M (GDF, 2017) como:

$$P_R = F_R F_E (f'_m A_T + \Sigma A_s f_y) \quad (1)$$

donde

$F_R$  factor de resistencia (se tomará  $F_R = 1$  para los ensayes; normalmente es 0.6);

$F_E$  factor de excentricidad y esbeltez; se puede tomar como 0.7 para muros sin excentricidad;

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

$\Sigma A_s$  suma de todas las áreas del refuerzo vertical a lo largo del muro;

$f_y$  esfuerzo de fluencia de la correspondiente barra de refuerzo vertical.



### 3.2.1.2 Momento resistente

El modo de falla por flexión puede ocurrir si las barras en el extremo a tensión fluyen y/o se aplasta el extremo del muro a compresión.

Para 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.

Un cálculo simple de la resistencia a la flexión se puede realizar usando el método optativo que vienen en las NTC-M para muros a flexo-compresión:

$$M_R = F_R A_s f_y d' + 0.3 P_u d, \quad \text{si } P_u < P_R/3 \quad (2)$$

donde

$F_R$  factor de resistencia, se tomará igual a 1.0 para la predicción en estos ensayos (normal 0.7);

$A_s$  área del refuerzo colocada en cada extremo;

$d'$  distancia entre los centroides del acero colocado en los extremos del muro;

$d$  peralte efectivo (distancia del centroide del acero a tensión al borde a compresión); y

$P_u$  carga axial de diseño sobre el muro, en este caso será la carga colocada sin factorizar  $P$ .

Tomando en cuenta la geometría de los especímenes y las propiedades nominales de los materiales se obtienen los resultados de la Tabla 3.4. El cortante asociado al momento resistente se calculó dividiendo el momento entre la altura del muro hasta la elevación de aplicación de la carga que es de  $H=2.6$  m:  $V_{MR} = M_R/2.6$ .

Para este cálculo más refinado se puede construir un diagrama de interacción momento-carga axial y obtener el momento resistente para la carga axial de interés, o bien el cálculo del diagrama momento-curvatura para una carga vertical establecida.

Tabla 3.4 Resistencias nominales a flexo-compresión con cálculo simplificado

No.	Especimen	Armado	$A_s$ cm <sup>2</sup>	$d$ cm	$P$ t	$P_R$ t	$M_0$ t-m	$M_{R, \text{simple}}$ t-m	$V_{MR, \text{simple}}$ t
1	MBC-1	4#4	5.08	243	9.0	71.9	50.1	56.7	21.84
2	MBC-2	4#4	5.08	248	9.2	137.0	51.2	58.0	22.33

### 3.2.2 Resistencia a cortante de muros sin refuerzo horizontal

Para predecir la resistencia de los especímenes se tomará el cálculo de las NTC-M. La expresión es:

$$V_{mR} = F_R (0.5 v_m' A_T + 0.3 P) \cdot f \quad (3)$$

$$V_{mR} \leq V_{mR, \text{máx}} = 1.5 F_R v_m' A_T \cdot f \quad (4)$$

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;

$P$  carga axial sobre el muro;

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

Se está suponiendo una resistencia nominal a cortante de  $v_m' = 3.5 \text{ kg/cm}^2$  para bloques huecos de ambos especímenes, tanto las piezas de baja resistencia a compresión (MBC-1) como para las de concreto tipo pesado (MBC-2).

Con esto las áreas transversales y cargas axiales serán:

$$A_T = L \cdot t = 12 \times 250 = 3000 \text{ cm}^2 \text{ (MBC-1)}, \quad A_T = L \cdot t = 12 \times 255 = 3060 \text{ cm}^2 \text{ (MBC-2); y}$$

$$\sigma = 3 \text{ kg/cm}^2, \text{ por lo tanto } P = \sigma \cdot A_T = 9.0 \text{ y } 9.2 \text{ t, respectivamente.}$$

Por lo tanto:

$$V_{mR, MBCR1-1} = 1 (0.5 \times 3.5 \times 3000 + 0.3 \times 9000) \cdot 1 / 1000 = 7.95 \text{ t (rige)}$$

$$V_{mRmáx, MBCR1-1} = 1.5 \times 1 \times 3.5 \times 3000 \times 1 / 1000 = 15.75 \text{ t}$$

En la Tabla 3.5 se anotan las resistencias calculadas.

Tabla 3.5 Resistencias nominales a cortante de los especímenes

No.	Especímen	Refuerzo horizontal	$A_T$ $\text{cm}^2$	$v_m'$ $\text{kg/cm}^2$	$P$ $\text{t}$	$V_{mR}$ $\text{t}$	$V_{mR, máx}$ $\text{t}$	$V_R$ $\text{t}$
1	MBC-1	- - -	3000	3.5	9.0	8.15	16.14	8.15
2	MBC-2	- - -	3060	3.5	9.2	8.17	16.18	8.17

### 3.2.3 Resistencia a cortante por fricción

Se puede calcular con los criterios de la sección 2.5.10 de las NTCC (GDF, 2017). La resistencia  $V_R$  será la menor de:

$$F_R \mu (A_{vf} f_y + N_u)$$

$$F_R [ 14A + 0.8(A_{vf} f_y + N_u) ]$$

$$F_R 0.25 f_c' A \tag{5}$$

$A_{vf}$  área de refuerzo por cortante por fricción (barras que cruzan la sección crítica), en nuestro caso es el acero de los castillos;

$A$  se toma para elementos de concreto como el área del plano crítico, pero para aplicarlo a muros de mampostería se tomará como el área total ( $A = A_T = t L$ );

$N_u$  fuerza a compresión normal al plano ( $N_u = P$ ); y

$\mu$  coeficiente de fricción suponiendo el de concreto contra concreto se toma como  $\mu = 1.0$ . Además, en vez de usar la resistencia del concreto  $f_c'$  se usará la de la mampostería  $f_m'$ , aún en el caso del muro confinado.

Se usó un factor de reducción unitario ( $F_R = 1$ ). El resumen en términos de fuerza cortante se presenta en la Tabla 3.6.

### 3.2.4 Resistencia esperada en cada espécimen

Considerando los tres modos de falla planteados se hace el resumen en donde el modo predominante será el que requiera una menor fuerza cortante para ser desarrollado. En la Tabla 3.6 se enlistan las resistencias y se anota como  $V_{min}$  la que predominaría.

Tabla 3.6 Resistencias teóricas ante la fuerza horizontal

No.	Espécimen	$V_{R,fricc}$ t	$V_R$ t	$V_{Mp}$ t	$V_{min}$ t	Modo de falla
1	MBC-1	15.00	8.15	21.84	8.15	cortante
2	MBC-2	38.25	8.17	22.32	8.17	cortante

### 3.2.5 Rigidez de los muros

Definimos la rigidez de entrepiso como el cociente de la fuerza entre el desplazamiento que produce:

$$Rig = V / \delta_h \quad (6)$$

La deformación teórica,  $\delta_h$ , en el rango elástico se puede calcular con las fórmulas conocidas de la Mecánica de Materiales para el caso de una viga en voladizo con una carga en su extremo. La deformación horizontal,  $\delta_h$ , tomando en cuenta la deformación por flexión y por cortante, se calcula como:

$$\delta_h = \frac{VH^3}{3E_m I} + \frac{VH}{G_m A_v} \quad (7)$$

donde:

- $V$  fuerza cortante horizontal al nivel de la losa,
- $H$  altura del muro,
- $E_m$  módulo de elasticidad de la mampostería,
- $G_m$  módulo de rigidez a cortante,
- $I$  momento de inercia de la sección transversal del muro, y
- $A_v$  área de cortante de la sección transversal del muro.

Para un cálculo preliminar se tomó el módulo de elasticidad como  $E_m = 800f_m'$ , el módulo de cortante se permite calcular como  $G_m = 0.2E_m$ .

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

$$E_c = 8000 \sqrt{f_c'} = 97,980 \text{ kg/cm}^2, \text{ para concreto con } f_c' = 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 8000 \sqrt{f_c'} = 126,491 \text{ kg/cm}^2, \text{ para concreto con } f_c' = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$E_m = 800 f_m'$  y  $G_m = 0.2$ . Para piezas de concreto, por tanto:

$$E_m = 16,000 \text{ kg/cm}^2, G_m = 3,200 \text{ kg/cm}^2, \text{ para bloques huecos de baja resistencia}$$

$E_m = 40,000 \text{ kg/cm}^2$ ,  $G_m = 8,000 \text{ kg/cm}^2$ , para bloques tipo pesado de alta resistencia

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

$$n = E_c / E_m = 97\,980 / 16\,000 = 6.12$$

$$n = E_c / E_m = 113\,137 / 40\,000 = 3.16$$

Se obtiene el momento de inercia como:

$$I = t \cdot L_m^3 / 12 + 2n [ b_c h_c^3 / 12 + A_c (L - h_c)^2 / 4 ] \quad (8)$$

donde

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

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

El área de cortante de un muro confinado con castillos se puede calcular como el área transversal  $A_v = A_T = t \cdot L$ ; por su parte el área de cortante de un muro sin castillos será la de una sección rectangular dividiendo el área entre el factor de forma que vale  $FF = \frac{6}{5} \left[ 1 + \frac{\alpha(n-1)}{2-2\alpha} \right]$  y donde  $\alpha = h_c / L_m$  (Taveras, 2008) por tanto,  $A_v = t \cdot L / FF$ .

Los resultados del cálculo de la rigidez inicial usando propiedades nominales del concreto se presentan en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Rigideces teóricas con propiedades nominales

No.	Espécimen	Sección cm	$f'_c$ kg/cm <sup>2</sup>	$f'_m$ kg/cm <sup>2</sup>	$b_c \times h_c$ cm	$t$ cm	$L$ cm	$A_v$ cm <sup>2</sup>	$I$ cm <sup>4</sup>	Rig t/cm
1	MBC-1	Con castillos	150	20	12×15	12	250	3000	41 125 776	34.4
3	MBC-2	Con castillos	250	50	12×15	12	255	3060	27 805 218	64.9

### 3.2.6 Propuesta del cálculo de resistencia de los muros rehabilitados

Como una aproximación a la resistencia de los especímenes rehabilitados con alambres de refuerzo horizontal Flores ha propuesto tomar un porcentaje  $\beta$  de la resistencia de los muros originales (calculada como si estuvieran sanos) más la resistencia debida al cálculo del refuerzo horizontal (Flores, 2019):

$$V_R = \beta V_{mR} + V_{sR} \quad (9)$$

donde:

$\beta = 0.5$  para muros dañados por cortante que han sido reparados con el relleno de grietas y reconstrucción de los extremos dañados de los castillos.

La resistencia del refuerzo horizontal se calculó como lo estipulan las NTC-M con la siguiente ecuación:

$$V_{sR} = F_R \eta p_h f_{yh} A_T \quad (10)$$

$$p_h = \frac{A_{sh}}{s_h \cdot t} \quad (11)$$

donde

- $p_h$  cuantía de acero horizontal;
- $s_h$  separación de alambres horizontales;
- $A_{sh}$  área de acero en cada junta reforzada;
- $\eta$  eficiencia del refuerzo:

$$\eta = \frac{V_{mR}}{F_R p_h f_{yh} A_T} (k_0 k_1 - 1) + \eta_s \quad (12)$$

$k_0$  constantes; en este caso  $k_0 = 1.3$  para muros cuadrados, y

$$k_1 = 1 - \alpha p_h f_{yh} \quad (13)$$

pero se debe cumplir que  $k_1 \geq (1 - 0.1 f_{an} f_m' \alpha)$

$\eta_s$  factor que vale  $\eta_s = 0.55$  cuando  $f_m' \leq 6$  MPa (60 kg/cm<sup>2</sup>). Si  $p_h f_{yh} > 0.1 f_{an} f_m'$  entonces se multiplica  $\eta_s$  por  $0.1 f_{an} f_m' / p_h f_{yh}$ ;

$f_{an}$  cociente del área neta y el área bruta de las piezas para muros confinados. En el caso de los muros de piezas doble hueco de concreto, se tienen:  $f_{an} = 0.615$  (MBC-1) y  $f_{an} = 0.526$  (MBC-2).

El producto de la cuantía por el esfuerzo de fluencia debe ser  $p_h f_{yh} \geq 3$  kg/cm<sup>2</sup>.

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

$$V_R = V_{mR} + V_{sR} \quad (14)$$

En la Tabla 3.8 se muestran los resultados del cálculo de la resistencia a cortante.

Tabla 3.8 Resistencias estimadas a cortante de los especímenes

No.	Especímen	Refuerzo horizontal	$p_h$	$p_h \cdot f_{yh}$ kg/cm <sup>2</sup>	diseño $p_h \cdot f_{yh}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\eta$	$P$ t	$V_{mR}$ t	$V_{sR}$ t	$V_R$ t
1	MBC-1	---	0	0	0	0	9.0	8.15	0	8.15
2	MBC-2	---	0	0	0	0	9.2	8.17	0	8.17
3	MBC-1R	2#2@40cm	0.00132	7.925	3.0	0.432	9.0	4.08	3.89	7.96
4	MBC-2R	1#2@42cm	0.00063	3.774	3.77	0.667	9.2	4.09	5.62	9.70

Considerando los tres modos de falla planteados se presentan los resultados en la Tabla 3.9 que toma los resultados de la Tabla 3.6 y se añaden la de los muros rehabilitados MBC-1R y MBC-2R. El modo de falla esperado fue por cortante.

Tabla 3.9 Resistencias teóricas ante la fuerza horizontal

No.	Especímen	$V_{R,fricc}$ t	$V_R$ t	$V_{Mp}$ t	$V_{min}$ t	Modo de falla
1	MBC-1	15.00	8.15	20.84	8.15	cortante
3	MBC-2	38.25	8.17	21.33	8.17	cortante
2	MBC-1R	15.00	7.96	20.84	7.96	cortante
4	MBC-2R	38.25	9.70	21.33	9.70	cortante



## 4 PREPARACIÓN DE LOS MODELOS

### 4.1 Construcción de los especímenes

En todos los casos se usaron vigas de cimentación de concreto reforzado de 80×50 cm reutilizables, anclando las barras verticales en huecos de las vigas que se rellenan de concreto.

En las etapas de construcción de ambos muros se habilitó el acero de los castillos y se coló con junta fría a la cimentación. Después se fueron colocando en el orden de 3 a 5 hiladas de bloques en el transcurso de uno o dos días. Durante la construcción se tomaron varias muestras del mortero para las pruebas de cubos explicados en el Apéndice A.



*Figura 4.1 Proceso de construcción (castillos y tablero)*

Una vez alcanzada las alturas previstas, se colaron castillos. Posteriormente los bloques de la parte superior, se rellenan con las bolsas de cemento (cartón) para evitar que el concreto de la dala fluya hacia el interior. Finalmente se curó el concreto y se dejó reposar, al menos 28 días para su ensaye.



*Figura 4.2 Proceso de construcción (dala y montaje)*

## 4.2 Reparación de los especímenes

Una vez terminados los ensayos hasta el punto en que los muros tenían cierta estabilidad, fueron retiradas las piezas sueltas, se limpió del polvo y retirado pequeños fragmentos remanentes. De haber agrietamiento en los castillos o dalas se demolió la parte dañada y se volvió a colar. De manera similar en el tablero, de ser posible se colocan medias piezas, las pequeñas oquedades se rellenan de mortero (colocando cartón de las bolsas de cemento como relleno en los huecos de piezas de abajo para evitar que se pierda el material de relleno)

Si alguna parte del muro es ligeramente inestable con ayuda de un gato hidráulico y vigas se cierra lo más que se pueda el muro intentando no dañar los castillos u otras partes del muro.



*Figura 4.3 Cerramiento del MBC – 2 por posible inestabilidad*

Una vez reparado el muro, se procedió con el reforzamiento con alambres horizontales y capa de mortero. Perforando con broca los castillos a la mitad (el caso del MBC – 1R solo 7 cm de profundidad y el MBC – 2R se perfora todo el elemento), donde se rematarán las barras. En estos casos se propuso un desfase de 5 cm respecto a la junta horizontal de las hiladas, para evitar concentración de esfuerzos y un plano de falla a la altura de la junta horizontal. Debido al peso propio de la barra esta tiene a deformarse y colgar, como un cable, para solucionar esto se colocaron clavos en centro para mantenerlos lo más recto posible.

El MBC – 1R tuvo capas de mortero y alambres horizontales en ambas caras, mientras que el MBC – 2R solo tuvo una capa de mortero y alambres horizontales



*Figura 4.4 (Izq) Daño en el castillo MBC -1, (centro) reparación de MBC – 2 y alambre horizontales habilitados, (Der) Capa de mortero de 25 mm*



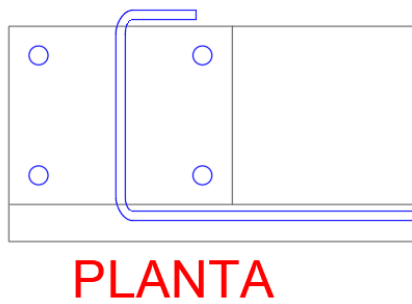


Figura 4.5 Vista en planta de un anclaje a 180°

### 4.3 Instrumentación

Para conocer con detalle el comportamiento de los alambres de refuerzo horizontal, se instrumentaron con deformímetros extensiométricos (strain gauges Tokyo Sokki Kenkyujo) en puntos específicos, siendo las barras de los castillos y los alambres horizontales en la fase de reparación.

En el exterior de los especímenes se instalaron celdas de carga y transductores de desplazamiento. Los transductores se encargarán de medir desplazamientos según un arreglo de medición. Se colocó también un instrumento para detectar el posible deslizamiento en la base de los muros.

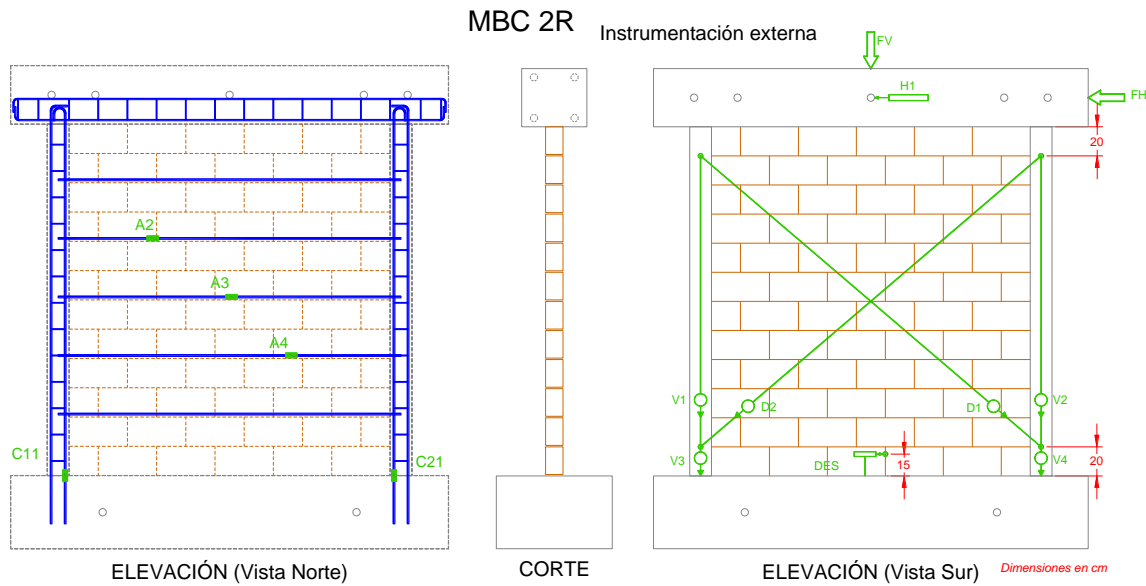


Figura 4.6 Esquema de instrumentación interna y externa programada en los muros

La adquisición de datos se obtuvo con equipo electrónico:

1. Sistema de switching ASW - 500 Flex Tokyo Sokki Kenkyujo
2. Sistema de adquisición de datos TDS - 530 Tokyo Sokki Kenkyujo

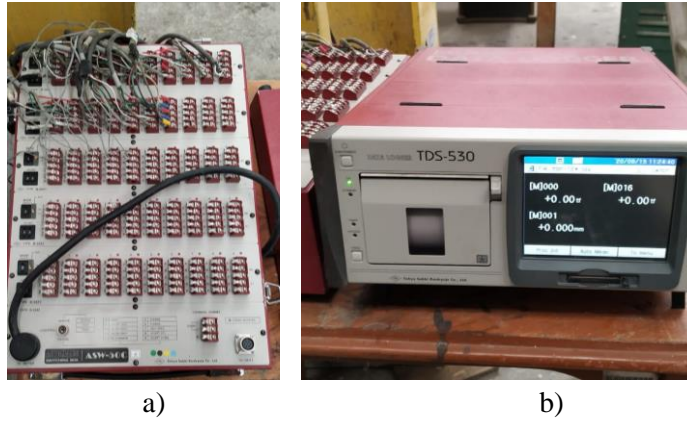


Figura 4.7 a) caja de switching b) sistema de adquisición de datos TDS

#### 4.4 Sistema de aplicación de cargas

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Estructuras Grandes del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Se ensayó mediante la aplicación de una carga lateral cíclica reversible producida por un gato hidráulico conectado al cabezal de concreto, a su vez, está conectado a lo largo de la parte superior de los especímenes

Para aplicar la carga vertical se utilizó una viga de acero al centro de cada panel, sujeta con barras de acero a modo de tensores (T) por un lado y con un peso colgante colocado (C) a una distancia calculada, para que el resultante (R) sea el correspondiente a un esfuerzo normal medio de  $3.0 \text{ kg/cm}^2$  que se había propuesto.

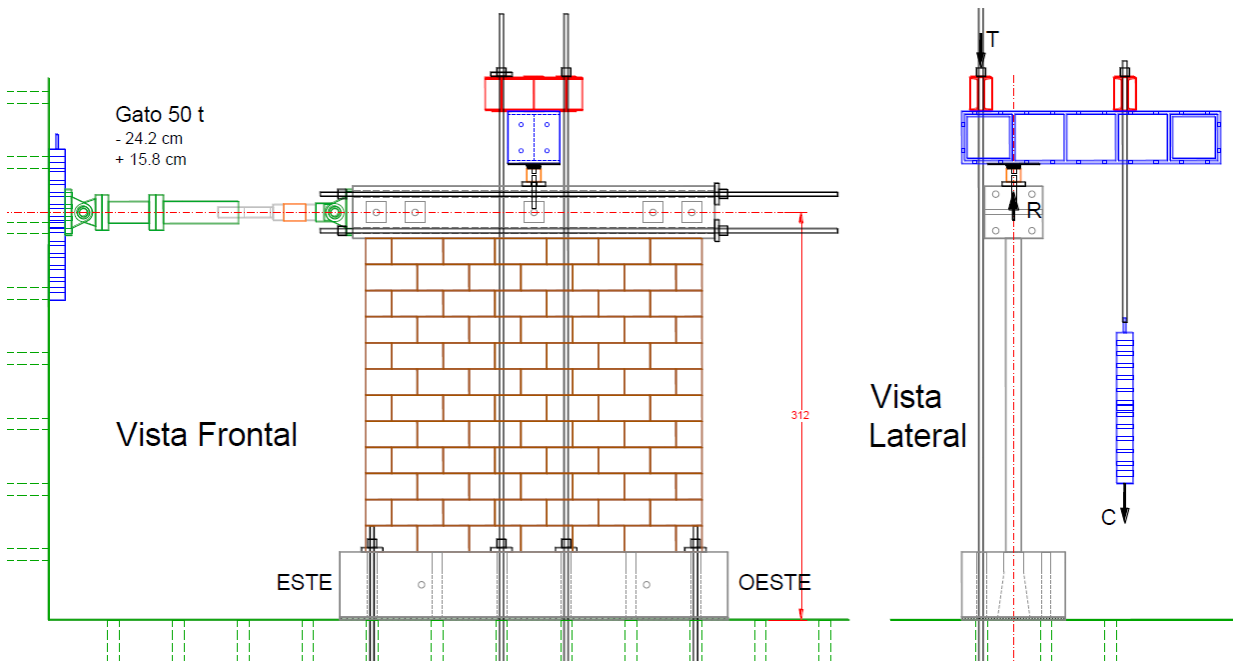


Figura 4.8 Sistema de reacción para aplicación de cargas



Figura 4.9 Vista real del sistema de carga e instrumentación

#### 4.5 Historia de carga

De acuerdo con las especificaciones del apéndice A de las NTC de Mampostería (2017), se realizó en cada ensaye una historia de carga en forma cíclica reversible con una repetición en cada ciclo para cada incremento en carga o deformación. En los cuatro ensayos se realizaron 5 ciclos controlados por cargas y el resto controlados por incrementos de distorsión con sus respectivas repeticiones. La historia de carga se muestra en la Figura 4.10.

En los ciclos 1 y 2 se aplicó la cuarta parte de la carga resistente estimada (a cortante o carga de agrietamiento), el 3 y 4 la mitad de dicha carga, y en el 5 se aplicó la carga estimada para el agrietamiento, pero controlando por desplazamiento que se estimó con la rigidez experimental (real) del ciclo anterior y la carga estimada de agrietamiento,  $V_{agr}$ , siendo la deformación  $\delta_{agr} = V_{agr} / Rigidez$  (o a distorsión  $\gamma_{agr} = \delta_{agr} / H$ ). El ciclo 6 es repetición por desplazamiento del ciclo 5.

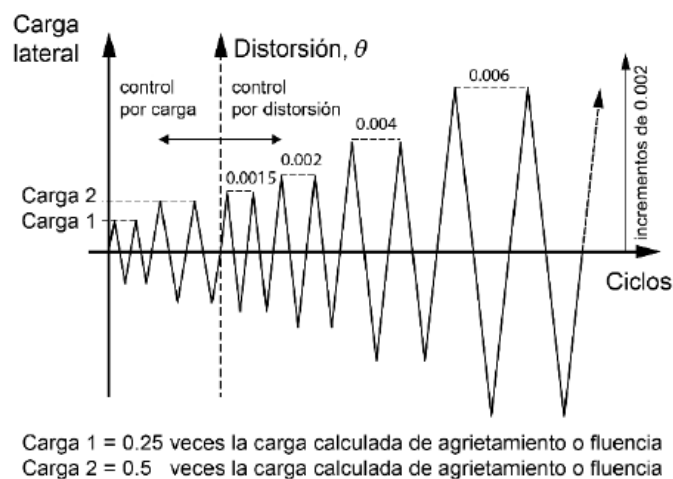


Figura 4.10 Historia de carga según las NTC - M - 2017 – 2020

## 5 RESULTADOS DE LOS ENSAYES

### 5.1 Resultados de ensayos de materiales

Para el estudio se programaron muestreos y ensayos de todos los materiales utilizados en la construcción de los especímenes. Se ensayaron también muestras cúbicas del mortero usado en todas las etapas constructivas, así como el ensaye a compresión de cilindros del concreto de los castillos, dalas y anclaje en la cimentación.

Los muretes, pilas y cilindros de concreto se instrumentaron para obtener las gráficas de esfuerzo contra deformación y de ellos obtener los módulos de cortante y de elasticidad correspondientes.

Tabla 5.1 Resumen de los resultados de ensayos de materiales, MBC -1

Tipo de ensaye	Propiedad	Variable	Valor
Compresión en piezas	Media	$f_p$	50.4 kg/cm <sup>2</sup>
	Coefficiente de variación	$C_p$	0.28
	Resistencia de diseño	$f_p'$	28.8 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia nominal	$f_p'_{nom}$	40 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión en pilas	Media	$f_m$	30.45 kg/cm <sup>2</sup>
	Coefficiente de variación	$C_m$	0.43
	Resistencia de diseño	$f_m'$	16.10 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia nominal	$f_m'_{nom}$	20 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión diagonal en muretes	Media	$V_m$	4.71 kg/cm <sup>2</sup>
	Coefficiente de variación	$C_v$	0.03
	Resistencia de diseño	$V_m'$	3.14 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia nominal	$V_m'_{nom}$	3.5 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión en mortero	Resistencia de diseño	$f_j$	123.2 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia nominal	$f_j'_{nom}$	125 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión en concreto de castillos del MBC - 1	Media	$f_c'$	179 kg/cm <sup>2</sup>
	Coefficiente de variación	$C_c$	0.04
	Resistencia nominal	$f_c'_{nom}$	150 kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 5.2 Resumen de los resultados de ensayos de materiales, MBC -2

Tipo de ensaye	Propiedad	Variable	Valor
Compresión en piezas	Media	$f_p$	108 kg/cm <sup>2</sup>
	Coefficiente de variación	$C_p$	0.13
	Resistencia de diseño	$f_p'$	72 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia nominal	$f_p'_{nom}$	60 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión en pilas	Media	$f_m$	71.4 kg/cm <sup>2</sup>
	Coefficiente de variación	$C_m$	0.01
	Resistencia de diseño	$f_m'$	51.94 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia nominal	$f_m'_{nom}$	50 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión diagonal en muretes	Media	$V_m$	5.05 kg/cm <sup>2</sup>
	Coefficiente de variación	$C_v$	0.25
	Resistencia de diseño	$V_m'$	3.09 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia nominal	$V_m'_{nom}$	3.5 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión en mortero	Resistencia de diseño	$f_j$	113.2 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia nominal	$f_j'_{nom}$	125 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión en concreto de castillos del MBC - 1	Media	$f_c'$	288 kg/cm <sup>2</sup>
	Coefficiente de variación	$C_c$	0.08
	Resistencia nominal	$f_c'_{nom}$	250 kg/cm <sup>2</sup>

Como resumen se muestran los resultados clave en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Propiedades de los materiales (reales)

No.	Nombre	Concreto (castillos)	Mortero	Mampostería	Módulos	
		$f'_c$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$f'_j$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$f'_m$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$v'_m$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	$E_m$ [kg/cm <sup>2</sup> ]
1	MBC - 1	179.0	123.2	17.86	3.14	35 020
2	MBC - 2	288.3	113.6	51.94	3.09	46 975

## 5.1 Corrección de predicciones de resistencia y rigidez con valores experimentales

Retomando los cálculos de las secciones 3.2 Predicción de resistencia y rigidez de los modelos originales, pero recalculando con los valores experimentales, descritos en la Tabla 5.1 y Tabla 5.2, los valores obtenidos se resumen en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Resistencias teóricas ante la fuerza horizontal

No.	Espécimen	$V_{R,fricc}$ t	$V_R$ t	$V_{Mp}$ t	$V_{min}$ t	Modo de falla
1	MBC-1	12.08	7.60	20.84	7.60	cortante
3	MBC-2	39.73	7.54	21.33	7.54	cortante
2	MBC-1R	12.08	7.27	20.84	7.27	cortante
4	MBC-2R	39.73	9.42	21.33	9.42	cortante

De forma semejante sigue dominando el método de falla por cortante. Comparando contra los valores nominales, tenemos un resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5.5 Comparación de Resistencias previstas

Muro	$V_{min\ nominal}$ t	$V_{min\ experiment}$ t	$\Delta\%$ %
MBC - 1	8.15	7.6	7%
MBC - 1R	8.17	7.54	8%
MBC - 2	7.96	7.27	9%
MBC - 2R	9.7	9.42	3%

Con resultados de las pruebas ante carga horizontal cíclica de cada muro, se obtuvieron tres rigideces medidas, una inicial en el primer ciclo de carga, una entre los *pasos* donde se registró un agrietamiento por una diagonal importante y finalmente cuando se alcanzó el 40% de la  $V_{max}$ .

En la Tabla 5.6 se tiene una comparación de las rigideces nominales y las teóricas (las calculadas con valores de las pruebas de materiales, desglosadas en el Apéndice A), contra la rigidez inicial del muro.

Adicionalmente se determinó una rigidez de los muros reparados, tanto con valores nominales como con valores experimentales de pruebas estándar. Para calcular la rigidez de las capas de mortero se utilizó la sección transformada. Para determinar el módulo de elasticidad del mortero se utiliza una recomendación de la sección 5.4.5.3 de las NTC-M, donde se puede estimar un valor  $E_{mortero} = 8\ 000 \sqrt{f'_j}$  semejante a considerar una concreto de clase II

Tabla 5.6 Comparación de rigideces

Muro	Rigidez Teórica Nominal t/cm	Rigidez Teórica t/cm	Rigidez Experimental			Comparación	
			al inicio t/cm	al Agriet. t/cm	al 40% t/cm	Inicio/Nominal.	Inicio/Exp
MBC - 1	34.4	57.6	36.6	26.4	34.4	1.06	0.6
MBC - 1R	39.0	65.7	93.1	38.9	65.8	2.38	1.4
MBC - 2	64.9	88.7	131.7	95.8	145.3	2.03	1.5
MBC - 2R	70.0	92.4	120.9	52.2	49.7	1.73	1.3

Se mostrarán las etapas identificadas en los ensayos: a) una secuencia de agrietamiento mostrándose las primeras grietas, b) un patrón de daño intermedio correspondiente a la resistencia (aproximadamente) y c) el estado final de daño.

También se muestran las gráficas de histéresis, que muestran las mediciones a lo largo del ensayo de las distorsiones de entrepiso contra la fuerza cortante (el desplazamiento horizontal del cabezal con respecto a su altura contra la fuerza cuasi-estática)

Se define como distorsión de entrepiso a la relación entre la deformación horizontal esta deformación es igual a una diferencia de desplazamientos, del cabezal respecto a la base del muro o cimentación) y la altura del entrepiso hasta dicho instrumento

$$\gamma = \frac{\delta_{\text{cabezal}} - \delta_{\text{cimentación}}}{H}$$

Por lo general los valores del desplazamiento en la cimentación son muy pequeños en cargas pequeñas, pero irán incrementando con la carga.

La resistencia se define como la carga máxima registrada, en algunos casos se alcanzó en ciclos positivos y otras en ciclos negativos. Definidos los ciclos cuando el gato empujaba (hacia la derecha en las fotos) y negativo cuando el gato jalaba (la izquierda en las fotos).

## 5.2 Espécimen MBC-1

La carga aplicada corresponde en este y los demás casos a un esfuerzo axial de compresión de  $\sigma = 3 \frac{kg}{cm^2}$ .

Se registraron: Resistencia  $V_{m\acute{a}x}^{(+)} = 8.58 \text{ ton}$  y Distorsión  $D_{V_{m\acute{a}x}}^{(+)} = 0.0019 \text{ mm/mm}$  en ciclos positivos y  $V_{m\acute{a}x}^{(-)} = -7.55 \text{ ton}$ ;  $D_{V_{m\acute{a}x}}^{(-)} = -0.00083 \text{ mm/mm}$

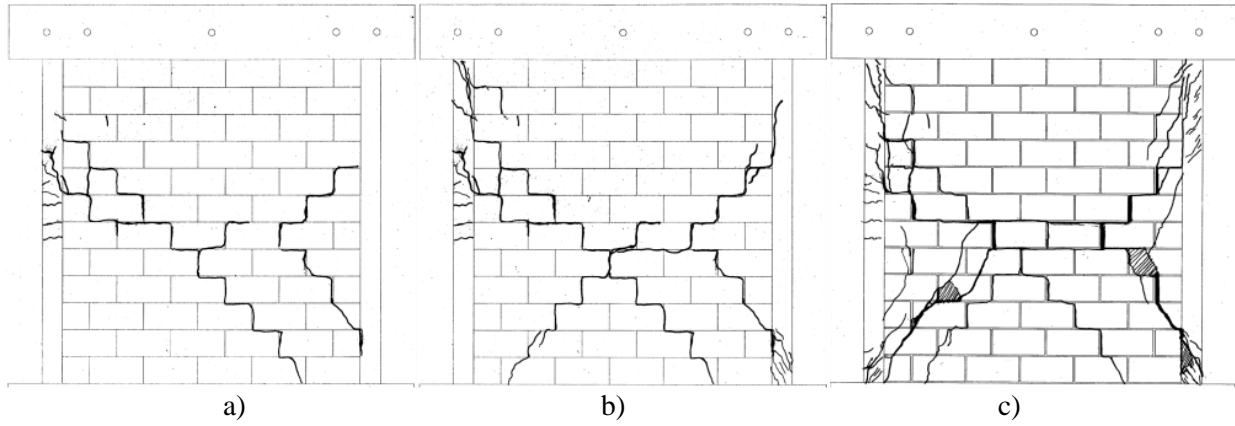


Figura 5.1 Secuencia de daño del espécimen MBC-2

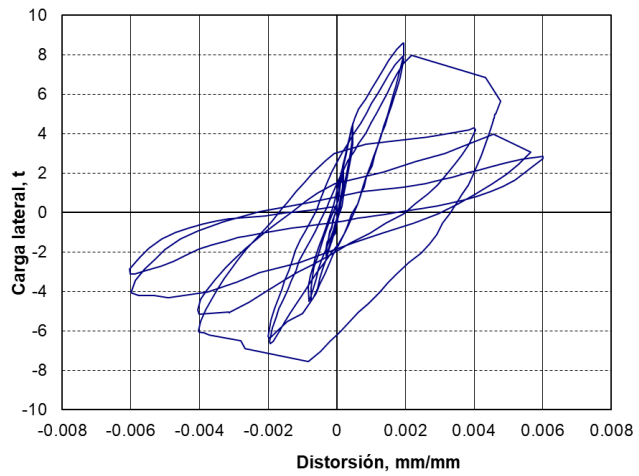
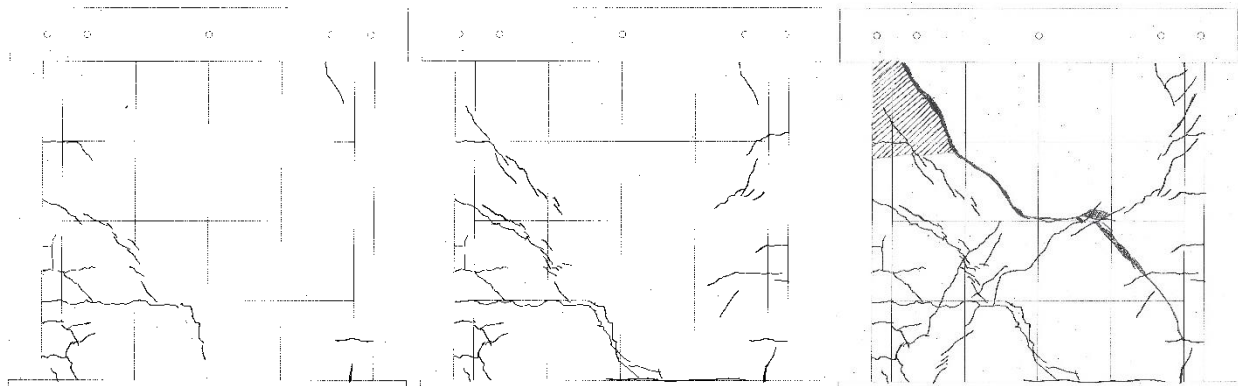


Figura 5.2 Patrón de agrietamiento final y curva de histéresis MBC-1

### 5.3 Especimen MBC-1R

Se registraron: Resistencia  $V_{máx}^{(+)} = 18.3 \text{ ton}$  y Distorsión  $D_{V_{máx}^{(+)}} = 0.00225 \text{ mm/mm}$  en ciclos positivos y  $V_{máx}^{(-)} = -14.28 \text{ ton}$ ;  $D_{V_{máx}^{(-)}} = -0.00216 \text{ mm/mm}$



a)

b)

c)

Figura 5.3 Secuencia de daño del espécimen MBC – 1R

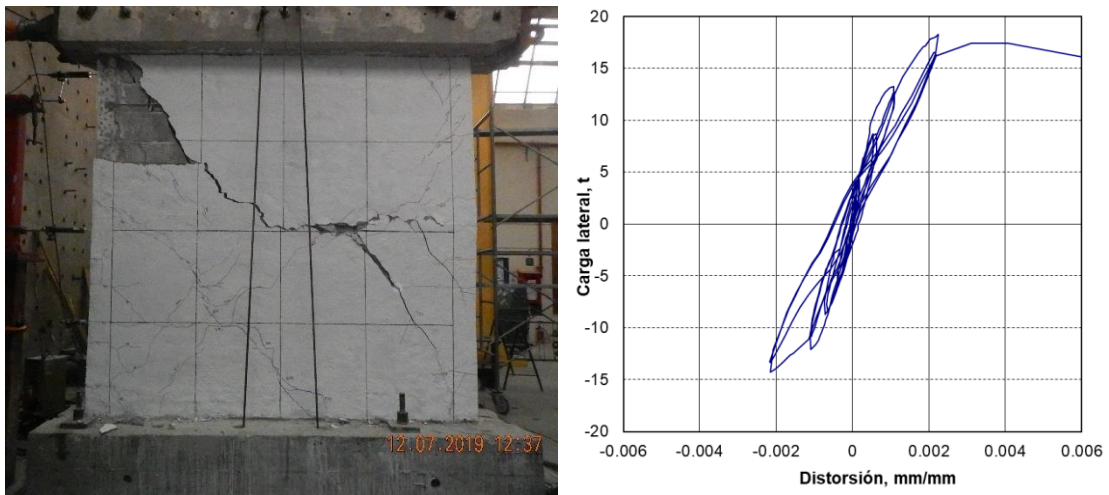


Figura 5.4 Patrón de agrietamiento final y curva de histéresis MBC-1R

#### 5.4 Especimen MBC-2

Se registraron: Resistencia  $V_{m\acute{a}x}^{(+)} = 12.95 \text{ ton}$  y Distorsión  $D_{V_{m\acute{a}x}}^{(+)} = 0.0038 \text{ mm/mm}$  en ciclos positivos y  $V_{m\acute{a}x}^{(-)} = -13.33 \text{ ton}$ ;  $D_{V_{m\acute{a}x}}^{(-)} = -0.00275 \text{ mm/mm}$



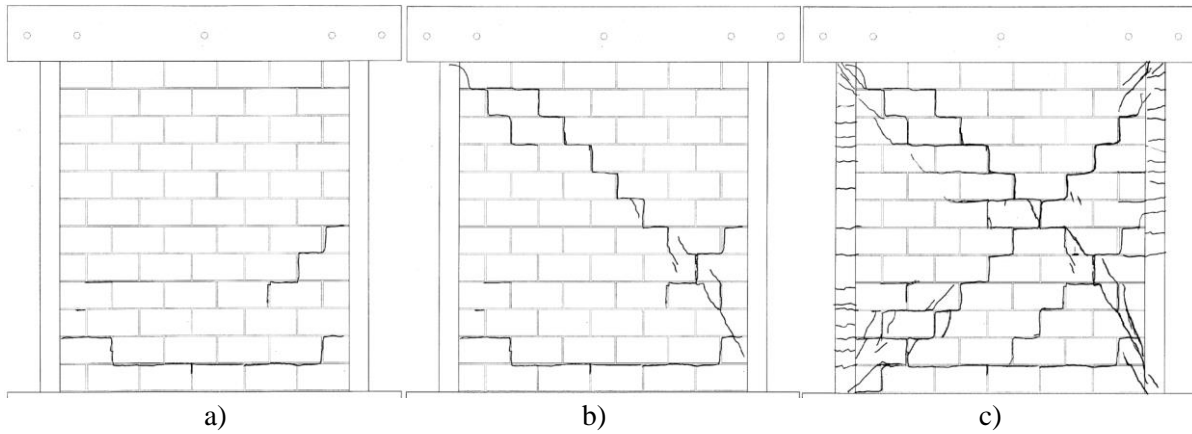


Figura 5.5 Secuencia de daño del espécimen MBC-2

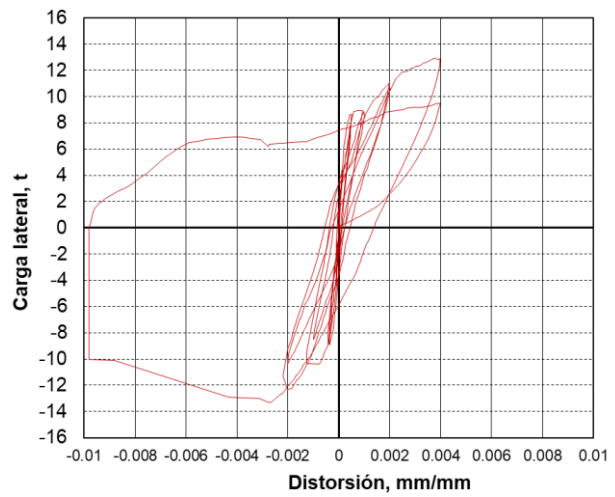


Figura 5.6 Patrón de agrietamiento final y curva de histéresis MBC-2

## 5.5 Especimen MBC-2R

Se registraron: Resistencia  $V_{máx}^{(+)} = 25.03 \text{ ton}$  y Distorsión  $D_{V_{máx}}^{(+)} = 0.0080 \text{ mm/mm}$  en ciclos positivos y  $V_{máx}^{(-)} = -24.33 \text{ ton}$ ;  $D_{V_{máx}}^{(-)} = -0.0060 \text{ mm/mm}$

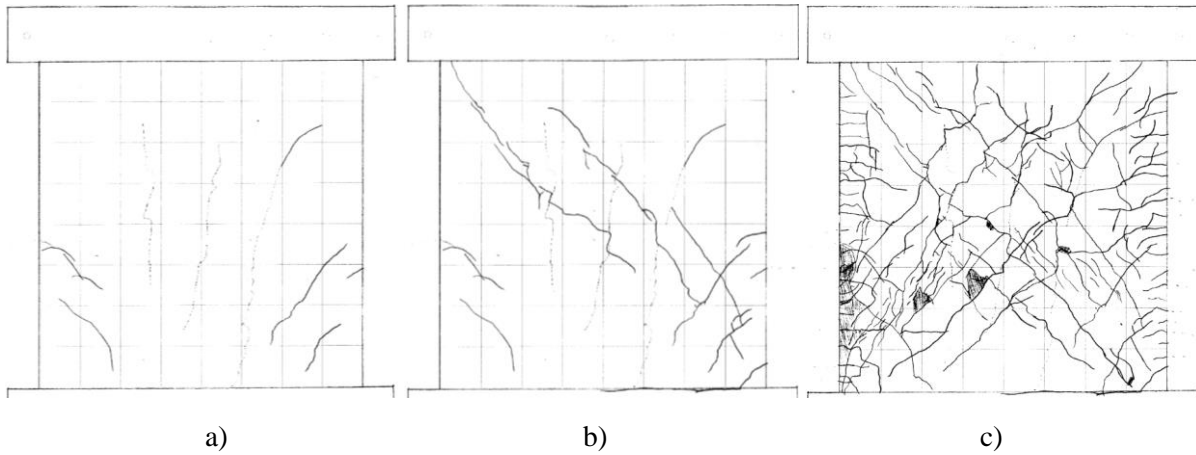


Figura 5.7 Secuencia de daño del espécimen MBC-2R

De forma similar, se muestra el daño en grietas inclinadas y la penetración de grietas en los extremos de los castillos, se muestra la gráfica de histéresis, que muestra las mediciones a lo largo del ensaye.

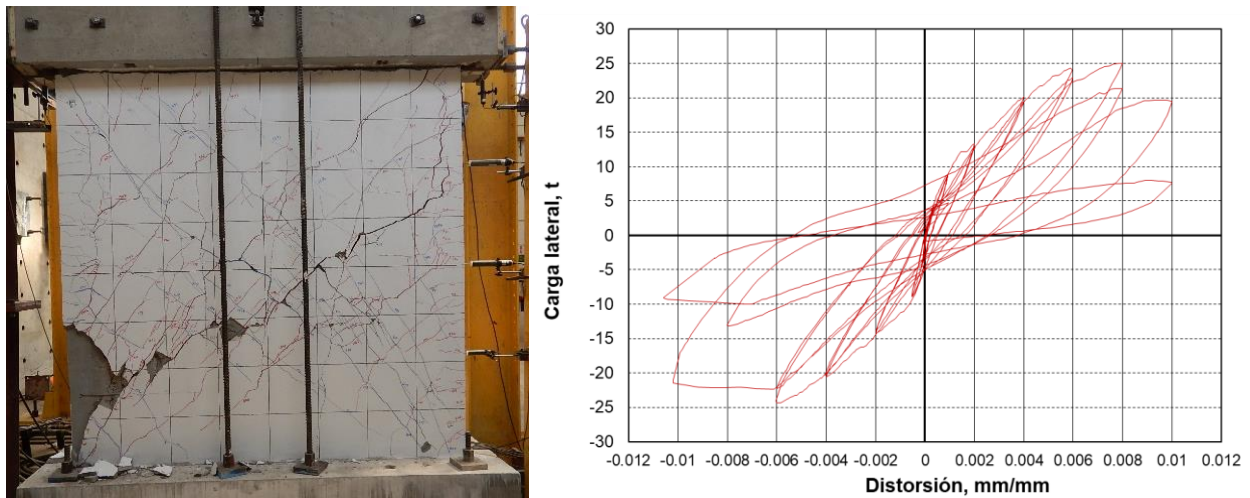
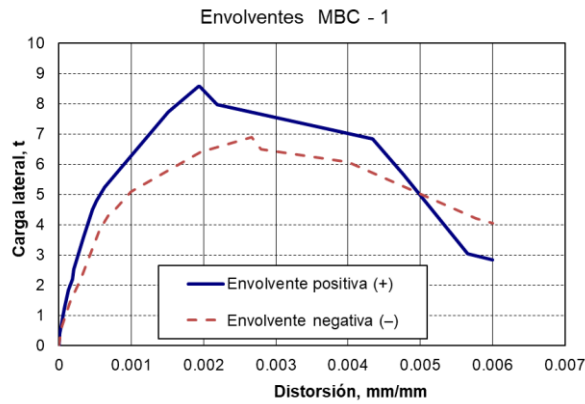


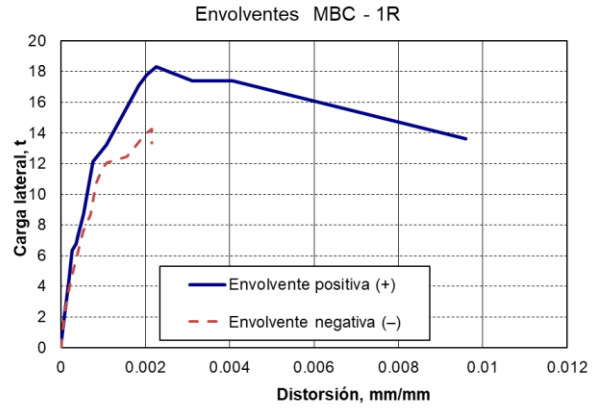
Figura 5.8 Patrón de agrietamiento final y curva de histéresis MBC-2R

## 5.6 Envoltentes de las curvas de histéresis

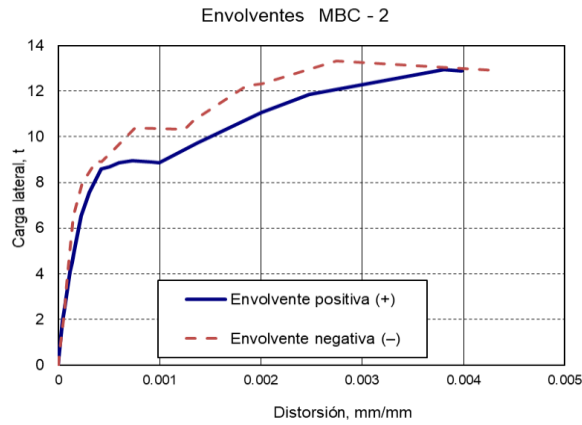
Para poder identificar fácilmente puntos donde los agrietamientos reducen la resistencia del muro y ver el comportamiento de cada muro, se muestran las envoltentes de las curvas de histéresis, tanto en sus ramas positivas como negativas.



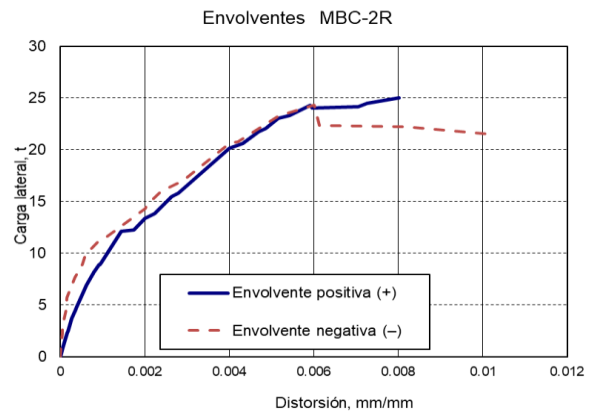
a)



b)



c)



d)

Figura 5.9 Envolventes por muro

Tomando en cuenta la rama positiva de cada envolvente de las curvas de histéresis de cada muro se presentan las siguientes graficas donde se puede hacer comparaciones gráficas de las siguientes 4 condiciones:

- Muros originales o sin daños (MBC – 1 y MBC – 2)
- Muros reparados (MBC – 1R y MBC – 2R)
- Muros con el mismo tipo de pieza
- Comparativa de los cuatro especímenes

En los primeros tres casos se muestra un valor cuando la resistencia máxima se reduce un 20%, el punto donde se registró un agrietamiento importante y la resistencia máxima de la rama.

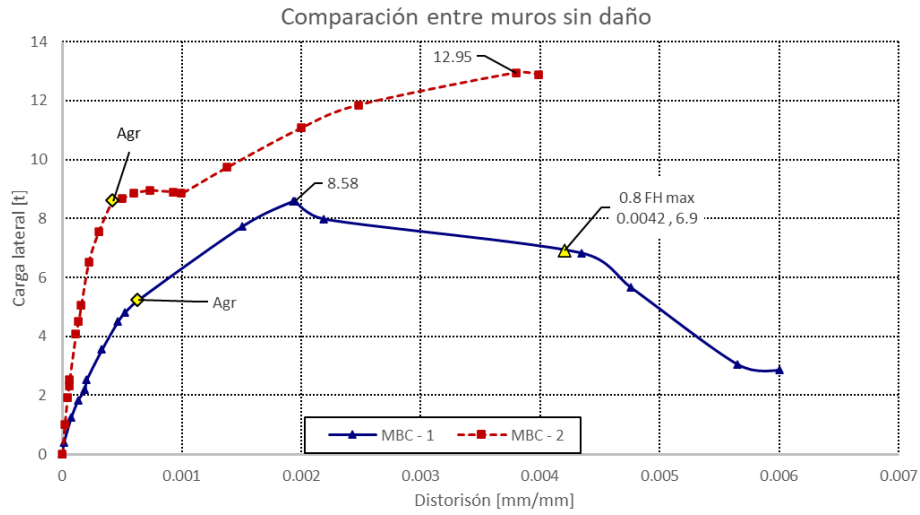


Figura 5.10 Comparación entre muros sin daño

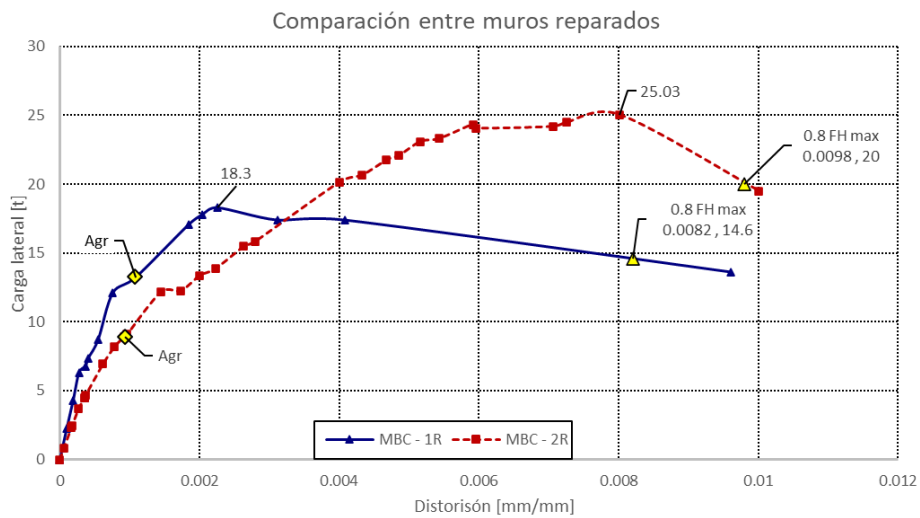


Figura 5.11 Comparación entre muros reparados

En las siguientes gráficas podemos observar directamente como se mejoró la resistencia y deformabilidad gracias al tipo de refuerzo propuesto.

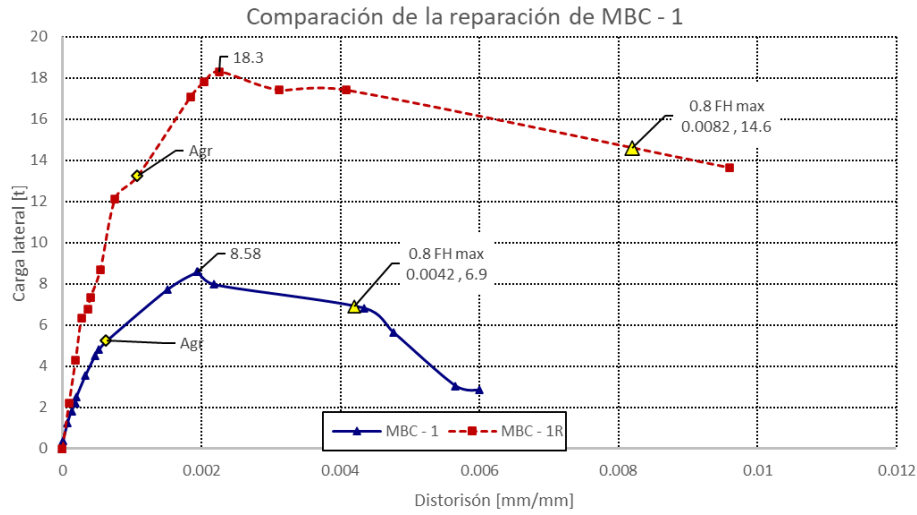


Figura 5.12 Comparación de la reparación de MBC - 1

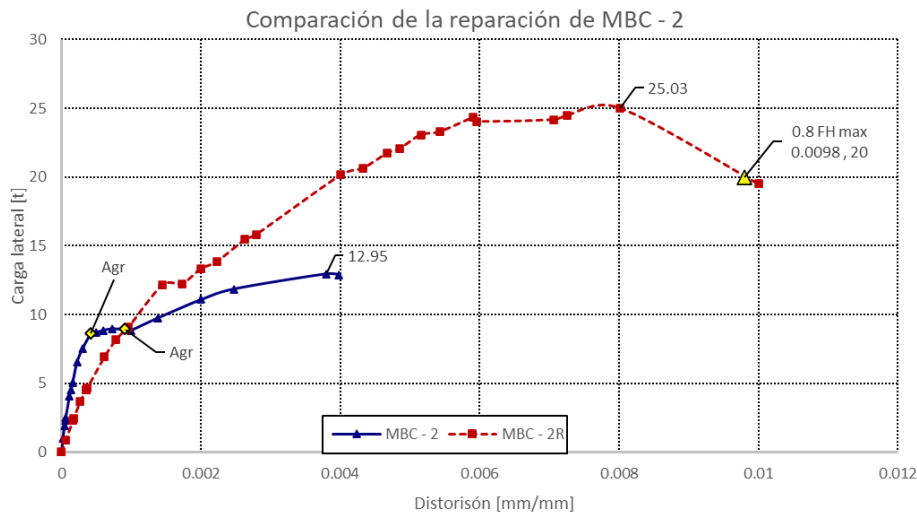


Figura 5.13 Comparación de la reparación de MBC - 2

Finalmente, podremos comparar los cuatro casos, observando las diferencias por usar un tipo de pieza y su respectiva reparación. Podemos observar que el usar piezas industrializadas y con controles de calidad se alcanzan valores más altos de resistencia (especímenes MBC-2).

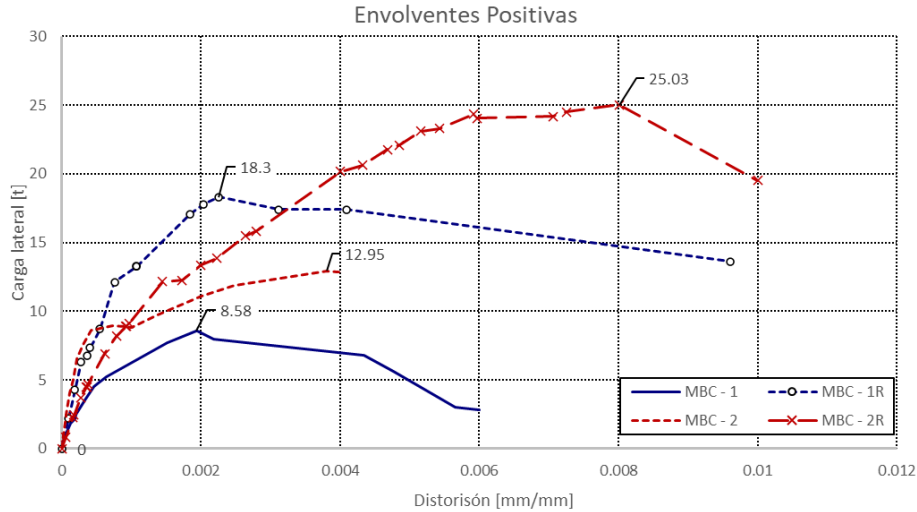


Figura 5.14 Envolventes positivas de los especímenes

### 5.7 Comparación de los resultados teóricos con los experimentales

Hay dos factores importantes: la resistencia y la rigidez esperadas. En la Tabla 5.7 se enlistan los datos de los principales resultados de los ensayos realizados.

Tabla 5.7 Comparativa de los resultados para los cuatro especímenes

Especímen	$V_{agr} = V_{mR}$ t	$V_R$ $= V_{mR} + V_{sR}$ t	$V_{max}^{(+)}$ t	$V_{max}^{(-)}$ t	Incremento MBC R / MBC	$V_{agr}^{(+)}$ t	$V_{agr}^{(-)}$ t	$V_{máx}^{(+)}/V_R$	$V_{máx}^{(-)}/V_R$
MBC – 1	8.15	8.15	8.58	-6.9	2.13	5.23	-4.50	1.05	0.85
MBC – 1R	8.17	8.17	18.3	-14.28		13.23	-12.48	2.24	1.75
MBC – 2	4.08	7.96	12.95	-13.33	1.88	8.60	-8.28	1.63	1.67
MBC – 2R	4.09	9.70	25.03	-24.33		8.90	-8.90	2.58	2.51

### 5.8 Discusión de los deformímetros electrónicos del MBC – 2R

Para poder determinar si el comportamiento en general del tablero como de los refuerzos con barras horizontales de la rehabilitación, podemos ver las gráficas y comparar con valores de la deformación de fluencia para saber si trabajaron correctamente.

En el caso de los castillos se colocaron deformímetros en la barra que tentativamente estaría en compresión, pero con las mediciones se nota que eso se cumple solo en casos donde la carga es baja, después todo el tablero comienza a trabajar en conjunto. Podemos ver que en ambos casos se llegó a un estado de fluencia (si el  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  su deformación unitaria de fluencia es a 0.002 con un módulo  $E_s = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ )

En las barras horizontales trabajan mejor mientras más al centro se encuentran, dado que las correspondientes a los canales A2 y A4 apenas superan la el valor de la deformación unitaria de 0.003 (el

cual nominalmente es  $f_y = 6000 \text{ kg/cm}^2$ ), mientras que la barra del centro superó este valor en pocos ciclos. Se puede deducir que el método de anclaje fue exitoso. Durante el experimento la barra central cedió en los últimos ciclos.

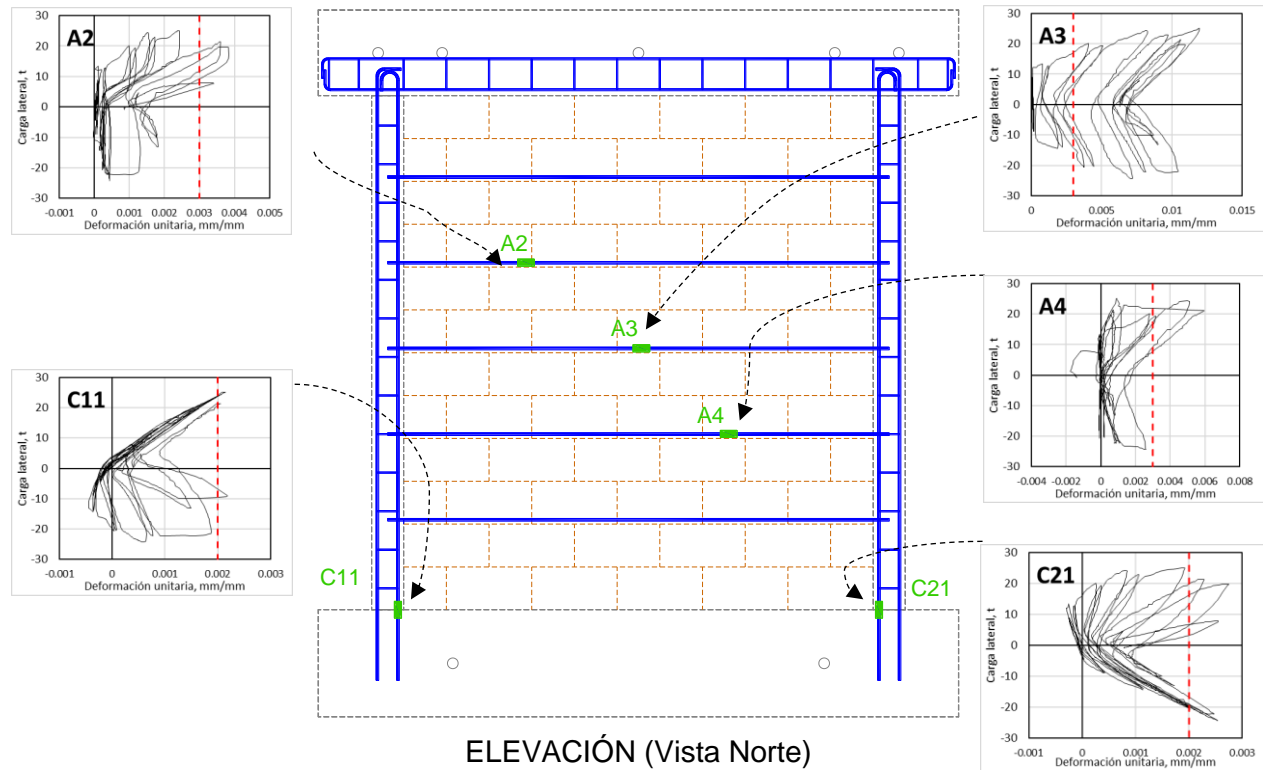


Figura 5.15 Deformación de los deformímetros electrónicos del espécimen MBC-2R

## 6 CONCLUSIONES

---

Se ensayaron los muros de mampostería confinada dos especímenes de bloque hueco y sus reparaciones con alambres horizontales y capa de mortero. Se varió la cantidad de refuerzo con alambres horizontales y capa de mortero, además, en la calidad de las piezas. Se verificó la aplicabilidad de las disposiciones para el diseño estructural de las normas de mampostería de la CDMX (NTC-M 2017 – 2020). Con base en los objetivos deseados se llegaron a las siguientes conclusiones.

- Los muros MBC – 1 y MBC – 2 presentaron un comportamiento adecuado respecto a su predicción con valores nominales y las referencias de las NTC-M. La resistencia a fuerza horizontal se cumplió en ambos casos, superando en 1.05 y 1.63 veces la resistencia última de diseño, para MBC – 1 y MBC -2 respectivamente, contra la experimental.
- Ambas reparaciones fueron exitosas al incrementar la resistencia en aproximadamente el doble. Aunque al tener el doble de refuerzo en alambres de acero y capa de mortero en el MBC – 1R respecto al MBC – 2R, debe existir una correlación de “refuerzo máximo” semejante a las limitantes de eficiencia en el diseño por fuerza cortante.
- Sin embargo, no se logró incrementar en ambos casos la rigidez, pues en el MBC – 1 si se obtuvo un incremento de rigidez 2.5 veces, mientras que en el caso de MBC – 2 se tiene una relación de 0.9. Con esta serie de investigación no es posible determinar a qué se debe dicho efecto pero probablemente tuvo que ver con el daño en el modelo original.
- En el tipo del anclaje del refuerzo de alambres horizontales se vio una diferencia importante en el desempeño del acero. Los alambres anclados dando la vuelta 180°, del espécimen MBC-2R, conservaron su posición y llegaron a fluir, mientras que los del espécimen MBC-1R con doblez a 90° y metidos en un barreno a la mitad del espesor del castillo llegaron a “desdoblarse” y salirse de la perforación donde estaban incrustados. Por lo tanto se recomienda usar el anclaje a 180°.
- Se observó que los alambres del centro trabajan más que sus adyacentes arriba y abajo. Por ello, con base en el análisis de los datos de los deformímetros extensiométricos, se recomienda que se ponga mayor cuidado a los alambres del centro, atravesando el castillo.
- La facilidad de la técnica de rehabilitación se describió anteriormente y como aspectos negativos que se identificaron: al colocar los alambres horizontales hay que tener una exactitud casi milimétrica para evitar dañar el refuerzo con golpes para inducirlo a entrar en sus respectivos lugares. En cuanto a la capa de mortero con el espécimen MBC – 1R estas fueron colocadas por personal inexperto, por lo que su calidad fue bastante reducida. Aun así, la resistencia y capacidad de deformabilidad del muro se incrementó notablemente.

Se considera esta forma de rehabilitación muy exitosa y se invita a investigar el resto de variabilidad en la técnica que no se pudo determinar aquí, con aspectos como: distintas cantidades de refuerzo, distintas calidades en la capa de mortero, piezas de arcilla de calidad artesanal y extruida, inclinación de los alambres a una especie de contravientos, conectando las uniones de dala – castillo (en “X”), casos de muros con aberturas, efectos de torsión, entre otras.



## 7 APÉNDICE A – RESULTADOS DE ENSAYES DE MATERIALES

Para el estudio de los muros, se realizaron muestreos y ensayos de todos los materiales utilizados (piezas de concreto, mortero de junteo, concreto de castillos). Las piezas fueron ensayadas a compresión simple, también se ensayaron pilas y muretes. Para el concreto se realizaron ensayos a compresión de cilindros muestreados durante la construcción de los castillos.

### 7.1 Geometría y ensayos a compresión de bloques de concreto

#### 7.1.1 Geometría de las piezas

Se tomó una muestra de cinco piezas del lote con el que se desarrolló el proyecto de las cuales se tomaron sus dimensiones externas, dando un promedio de:

$$11.8 \times 19.5 \times 39 \text{ cm}$$

con un coeficiente de variación de las medidas del orden del 1%. Por lo tanto el espesor promedio del muro MBC -1 se consideró de 11.8 cm (siendo el nominal de 12 cm)

Por otro lado, las piezas industrializadas de IBM, se tomaron 5 piezas como muestra, y el promedio de dimensiones externas son:

$$11.9 \times 20 \times 40 \text{ cm}$$

De forma similar, el coeficiente de variación de las medidas del orden del 1%, por lo tanto, el espesor promedio del MBC – 2 se tomó como 11.9 (nominal de 12 cm)

#### 7.1.2 Ensayes de piezas a compresión

Se cabecearon las piezas con un yeso con cemento especial y se ensayaron a compresión, siendo cinco las piezas seleccionadas aleatoriamente de la misma muestra usada para dimensiones. En la Tabla 7.1 se muestran los resultados de estos ensayos.

Tabla 7.1 Ensaye a compresión de piezas MBC - 1

Pieza No.	Dimensiones, cm			Área cm <sup>2</sup>	Carga, kg	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
	a	b	c			
1	11.7	39.0	19.7	456.3	19000	41.64
2	11.8	39.0	19.4	460.2	27400	59.54
3	11.9	38.9	19.7	462.9	17000	36.72
4	11.9	39.0	19.3	464.1	32600	70.24
5	11.8	38.9	19.2	459.0	20200	44.01
Promedio	11.8	39.0	19.5			50.4
Coef. variación	0.007	0.001	0.012			0.28

Tabla 7.2 Ensaye a compresión de piezas MBC - 2

Pieza No.	Dimensiones, cm			Peso kg	Área bruta cm <sup>2</sup>	Peso Vol. kg/m <sup>3</sup>	Carga, kg	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
	a	b	c					
6	11.9	40.0	20.0	11.623	476.0	1,221	61,400	128.99
7	11.9	40.0	20.0	11.418	476.0	1,199	53,800	113.03
8	11.9	40.0	20.0	11.475	476.0	1,205	47,400	99.58
9	11.9	40.0	20.0	11.376	476.0	1,195	43,500	91.39
10	11.9	40.0	20.0	11.647	476.0	1,223	51,000	107.14
Promedio	11.9	40.0	20.0			1,209		108.0
Coef. variación	0.0	0.0	0.0			0.01		0.13

El procedimiento de ensaye siguió lo establecido en la norma mexicana NMX-C-036-ONNCCE (ONNCCE, 2004). Para fines de diseño se usa un valor reducido de la resistencia a compresión obtenida en las pruebas  $f_p'$  según se especifica en las NTCM (GDF, 2017). Los valores de diseño se obtienen reduciendo los esfuerzos resultantes de las pruebas en función del coeficiente de variación de las mismas, de forma tal que la probabilidad de que no se alcancen estos valores sea del 2%. Dicho valor se calcula con la expresión A.1.

$$f_p' = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5 c_p} \quad (7.1)$$

donde:

$f_p'$  resistencia de diseño a compresión;

$\bar{f}_p$  media de las resistencias a compresión de las probetas, referidas al área bruta; y

$c_p$  coeficiente de variación, calculado como el cociente de la desviación estándar entre la media, que para piezas de producción mecanizada, pero sin sistema de control de calidad, este valor no debe tomarse menor que 0.3.

En los bloques del MBC -1, el esfuerzo promedio fue  $\bar{f}_p = 50.4 \text{ kg/cm}^2$ , y dado que el coeficiente de variación fue de  $c_p = 0.28$  en la fórmula A.1 se utilizó el valor de 0.3 con lo cual se obtuvo un a resistencia de diseño de

$$f_p' = 28.8 \text{ kg/cm}^2.$$

En los bloques del MBC -2, el esfuerzo promedio fue  $\bar{f}_p = 108.0 \text{ kg/cm}^2$ , y dado que el coeficiente de variación fue de  $c_p = 0.13$  en la fórmula A.1 se utilizó el valor de 0.2 con lo cual se obtuvo un a resistencia de diseño de

$$f_p' = 72 \text{ kg/cm}^2.$$

## 7.2 Compresión en pilas de mampostería

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

Para la construcción de las pilas se unieron tres piezas con lo cual la relación altura a espesor fue en promedio de 5, por lo que el factor correctivo usado fue de 1.05. Las pilas se cabecearon con un yeso especial en las piezas extremas para garantizar una superficie uniforme contra la máquina de ensaye.

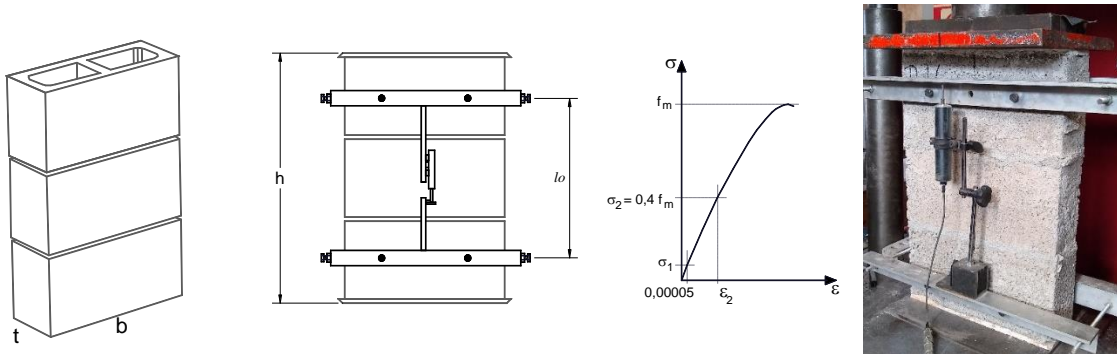


Figura 7.1 Esquema y foto del ensaye de pilas a compresión

La elaboración de los muretes y pilas de los especímenes se hicieron después de la construcción de los mismos. 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.

$$E_m = \frac{0.4f_m - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0.00005}$$

Las incógnitas  $\sigma_1$  y  $\varepsilon_2$  se obtienen de interpolación lineal a partir de los datos experimentales.

En la Tabla A.2 se presenta el módulo de cada pila y una correlación respecto a la resistencia de dicha pila. La variable  $\varepsilon_{f_m}$  es la deformación unitaria registrada en la carga máxima.

Tabla 7.3 Resultados de ensayos de pilas a compresión

Pila	Descripción	Dimensiones, cm			Carga kg	$f_m$ kg/cm <sup>2</sup>	Promedio	$E_m$ kg/cm <sup>2</sup>	$E_m/f_m$	$\epsilon_{fm}$
		$t$	$b$	$h$						
Pila-1	MBC - 1	12.0	39.0	60.5	12450	26.60	30.45	32,627	1226	0.0016
Pila-2		11.9	39.1	60.4	21025	45.19		43,254	957	0.0007
Pila-3		11.9	39.0	60.5	9075	19.55		29,180	1492	
Promedios		11.9	39.0	60.5		30.4		35,020	1225	0.0011
Coef. de variación						0.43		0.21		0.59
Pila-4	MBC - 2	11.8	40.0	63.2	32200	71.87	71.4	44,479	619	0.00281
Pila-5		11.8	40.0	63.0	32300	72.09		48,726	676	0.00253
Pila-6		11.8	40.0	62.7	31500	70.28		47,720	679	0.00260
Promedios		11.8	40.0	63.0		71.4		46,975	658	0.0026
Coef. de variación						0.01		0.05		0.05

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 del 2%. El esfuerzo de diseño,  $f_m'$ , se obtuvo aplicando la ecuación A.2, donde  $\bar{f}_m$  es la media de las resistencias y  $c_m$  es el coeficiente de variación que no se debe tomar menor que 0.15.

$$f_m' = \frac{\bar{f}_m}{1 + 2.5 c_m} \quad (7.2)$$

Por lo tanto, la resistencia a compresión de las pilas representantes de MBC – 1 fue en promedio de 30.4 kg/cm<sup>2</sup>, que, al multiplicar por el factor correctivo por esbeltez  $h/t=5.08$  que vale 1.051, y al aplicar la ecuación A.2 resulta una resistencia de diseño de todas las probetas de:

$$f_m'_{MBC-1} = 16.10 \text{ kg/cm}^2$$

De forma análoga, las pilas de MBC – 2 tiene un promedio de 71.4 kg/cm<sup>2</sup>, un factor de 1.053, al aplicar la ecuación A.2, resulta una resistencia de diseño:

$$f_m'_{MBC-2} = 51.94 \text{ kg/cm}^2$$

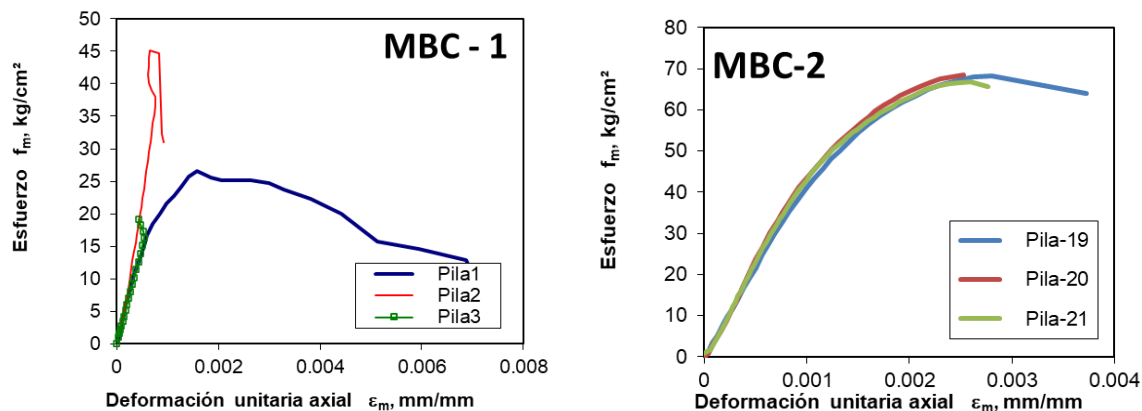


Figura 7.2 Gráficas representativas del ensaye de pilas a compresión

### 7.3 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 ensaye 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 tres 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 para colocarlos en las esquinas cargadas, como se muestra en la Figura 7.3.

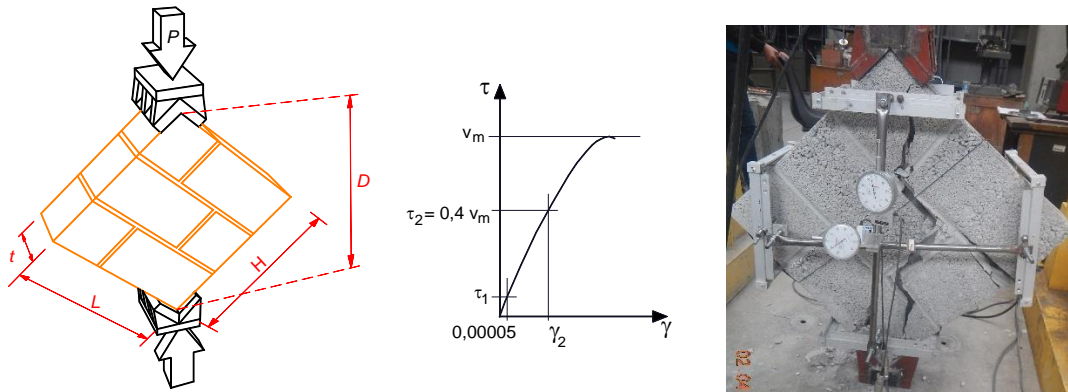


Figura 7.3 Esquema y foto de la prueba de murete a compresión diagonal

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 7.3).

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 - 2020), donde  $\overline{v_m}$  es la media de las resistencias medidas y  $c_v$  es el coeficiente de variación que no se debe tomar menor que 0.2.

$$v_m' = \frac{\overline{v_m}}{1 + 2.5 c_v} \quad (7.3)$$

En la Tabla 7.4 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 7.3). En la tabla se incluye el cálculo del esfuerzo de diseño para cada probeta.

Tabla 7.4 Resultados de ensayos de muretes a compresión diagonal

Murete	Descripción	Dimensiones, cm						Área diag. $A = t \cdot D$ , cm <sup>2</sup>	Carga $P$ , kg	Esfuerzo $v_m$ , kg/cm <sup>2</sup>	Promedio kg/cm <sup>2</sup>
		$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$D$	$t$				
Mur-1	MBC - 1	57.5	56.7	58.8	59.3	85.4	12.4	1059.0	4980	4.70	4.71
Mur-2		58.5	60.0	58.7	57.9	85.1	11.9	1012.7	4900	4.84	
Mur-3		58.0	58.0	58.5	57.5	85.7	12.0	1028.4	4720	4.59	
Promedio										4.71	
Coeficiente de variación										0.03	

Murete	Descripción	Dimensiones, cm				Área diag. $A = t \cdot D$ , cm <sup>2</sup>	Carga $P$ , kg	Esfuerzo $v_m$ , kg/cm <sup>2</sup>	Promedio kg/cm <sup>2</sup>
		$L$	$H$	$D$	$t$				
Mur-4	MBC - 2	61.0	62.0	86.5	11.9	1029.4	6020	5.85	5.05
Mur-5		61.0	62.0	86.5	11.9	1029.4	5900	5.73	
Mur-6		61.0	62.0	86.0	11.9	1023.4	3650	3.57	
Promedio								5.05	
Coeficiente de variación								0.25	

En los muretes para MBC – 1 el promedio de los ensayos fue de 4.71 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 0.03; considerando el coeficiente de variación mínimo de  $c_v = 0.2$ , el esfuerzo de diseño por compresión diagonal con la ecuación A.3 resultó de

$$v_m'_{MBC-1} = 3.14 \text{ kg/cm}^2.$$

En los muretes para MBC – 2 el promedio de los ensayos fue de 5.05 kg/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación de 0.25, el esfuerzo de diseño por compresión diagonal con la ecuación A.3 resultó de  $v_m' = 3.09 \text{ kg/cm}^2$ .

$$v_m'_{MBC-2} = 3.09 \text{ kg/cm}^2.$$

#### 7.4 Compresión en cubos de mortero

Durante la construcción del modelo se hizo un muestreo del mortero usado para pegar los tabiques. Cada muestra consistió de tres probetas cúbicas de 50 mm de arista las cuales fueron ensayadas a compresión (Figura 7.4) siguiendo el procedimiento de la norma mexicana NMX-C-061-ONNCCE (2010).

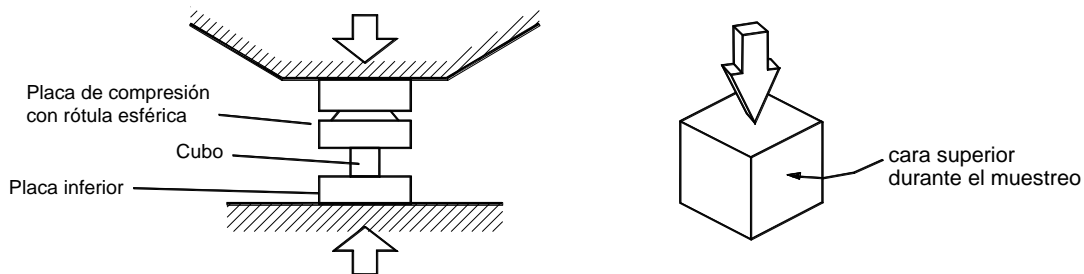


Figura 7.4 Ensayo de cubos de mortero

El mortero usado fue elaborado para cumplir con el requisito del mortero tipo I según las NTC Mampostería (CDMX, 2017) dosificado para un proporcionamiento 1:¼:3 (un volumen de cemento, un cuarto de cal y tres veces el volumen de arena). En la Tabla 7.5 se resumen los resultados de los ensayos de cubos donde cada dato en cada renglón es el promedio del ensayo de tres cubos tomados de la misma mezcla.

$$f_j' = \frac{\bar{f}_m}{1+2.5 c_v} \quad (7.4)$$

Tabla 7.5 Resultados de ensayos a compresión de cubos de mortero de junta (promedios de 3 cubos) MBC - 1

Muestra N°	Espécimen	fj kg/cm <sup>2</sup>	Promedio kg/cm <sup>2</sup>
1	MBC -1 (juntas)	183.0	192.3
2		204.2	
3		189.5	
Promedio		192.3	
Coeficiente de variación		0.073	
4	MBC -1R (capa mortero)	158.1	173.6
5		189.1	
Promedio		173.6	
Coeficiente de variación		0.103	

En la Tabla 7.6, se muestran solo valores de ensayos de cubos que fueron curados con poca agua, debido a que se tuvieron otros cubos que fueron curados sumergidos en agua y sus resistencias fueron muy diferentes a los primeros, se omitieron en esta tabla.

Tabla 7.6 Resultados de ensayos a compresión de cubos de mortero de junta MBC - 2

Muestra N°	Espécimen	fj kg/cm <sup>2</sup>	Promedio kg/cm <sup>2</sup>
7	MBC -2 (juntas)	146.3	146.8
8		112.4	
9		177.8	
10		150.6	
Promedio		146.8	
Coeficiente de variación		0.221	

En el MBC – 1 el esfuerzo de compresión promedio fue de 184.8 kg/cm<sup>2</sup>, (tomando en cuenta el mortero utilizado para las capas de rehabilitación), con un coeficiente de variación de  $c_j=0.10$ ; pero no debe ser menor a 0.2, por lo que el esfuerzo de diseño resulta de:

$$f_j'_{MBC-1} = 123.2 \text{ kg/cm}^2.$$

Para el MBC – 2 esfuerzo de compresión promedio fue de 146.8 kg/cm<sup>2</sup>, el coeficiente de variación de 0.221, teniendo un valor de diseño:

$$f_j'_{MBC-2} = 94.59 \text{ kg/cm}^2.$$

Tomando en cuenta todas las muestras del MBC – 2 (junto con los cubos curados en agua), el promedio es 186.7 kg/cm<sup>2</sup>, el coeficiente de variación de 0.26, teniendo un valor de diseño:

$$f_j'_{MBC-2 \text{ Diseño}} = 113.6 \text{ kg/cm}^2.$$

## 7.5 Compresión en cilindros de concreto

En la Figura 7.5 Ensayo de cilindros de concreto Figura 7.5 se muestra un esquema del cilindro de 10×20 cm, de la instrumentación utilizada, así como de la máquina de prueba. El ensaye se ajustó a la norma mexicana NMX-C-083 (ONNCCE, 2014) y la medición de las deformaciones y cálculo de módulo de elasticidad siguió lo establecido en la norma mexicana NMX-C-128 (ONNCCE, 2013), aunque los ensayos se realizaron a una edad cercana a la fecha del ensaye (más de 28 días). Los cilindros se cabecearon con un yeso con cemento especial para este uso, para garantizar la distribución uniforme de esfuerzos. La prueba fue monótonamente creciente hasta la falla y se controló por carga, con una velocidad constante de 26 t/min.

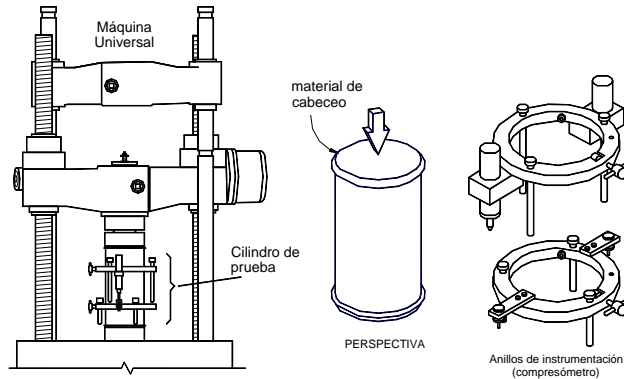


Figura 7.5 Ensayo de cilindros de concreto

En la Tabla 7.7 se muestra el resumen de los resultados de los ensayos de cilindros de concreto.

Tabla 7.7 Resultados de ensayos de cilindros de concreto de castillos del espécimen MBC

Nombre	Descripción	Área cm <sup>2</sup>	Peso Vol t/m <sup>3</sup>	Carga kg	Esfuerzo f <sub>c</sub> ' kg/cm <sup>2</sup>	E <sub>c</sub> kg/cm <sup>2</sup>	E <sub>c</sub> / √f <sub>c</sub> '
Cil-2	Castillos MBC – 1	173.2	1.86	30600	176.7	98521	7412
Cil-3		175.8	1.85	33000	187.7	101749	7426
Cil-4		175.0	1.84	30200	172.6	93698	7132
Promedio			1.85		179.0	97989	7323
Coeficiente de variación			0.007		0.044	0.041	
Cil-70	Castillos MBC – 2	83.3	1.92	26100	313.2	358750	20270
Cil-71		80.8	1.94	22350	276.8	198493	11931
Cil-72		81.3	1.92	22350	274.9	138306	8342
Promedio			1.92		288.29	231850	13515
Coeficiente de variación			0.006		0.075	0.491	

Las gráficas esfuerzo–deformación unitaria axial de los ensayos se presentan en la Figura 7.6.



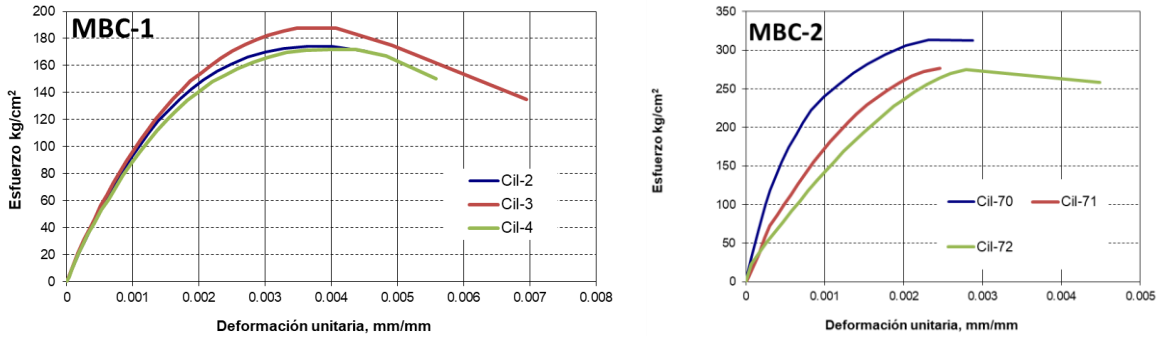


Figura 7.6 Gráficas esfuerzo – deformación unitaria de ensayos de cilindros

También se presentan los módulos de elasticidad calculados como la pendiente de la secante entre un punto de la gráfica esfuerzo-deformación con deformación unitaria de 0.00005 y el punto al 40% de la resistencia del cilindro según la Norma Mexicana NMX-C-128-ONNCCE (2014).

## 8 BIBLIOGRAFÍA

---

- Cruz, A., Pérez, J., & Flores, L. (2014). Estudio experimental sobre la contribución del refuerzo horizontal a la resistencia de muros de mampostería confinada. *XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*. Puerto Vallarta, Jalisco: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- Flores L, A. S. (1999). *Estudio de la rehabilitación de centrales telefónicas empleando malla y aplanado de concreto*. Morelia, Mich. México: XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.
- Flores, L. ((En edición)). *Propuesta de protocolo de investigación: ensayos de muros de bloque de concreto de resistencia alta con diferente modalidad de refuerzo*. CDMX: CENAPRED.
- Flores, L. (2019). Ensayos de muros de bloque hueco de concreto con refuerzo interior ante carga lateral. *XXII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*. Nuevo León.
- Flores, L. (2019). *Reparación de un muro diafragma de mampostería no confinada con hueco de ventana*. CDMX: CENAPRED.
- Flores, L., & Mendoza, J. (2006). *Ensayo de un muro de mampostería con aberturas*. D.F.: CENAPRED.
- Flores, L., Mendoza, J., Ríos, M., & Reyes, C. (2004). *Ensayo de muros de mampostería con aberturas y su rehabilitación con malla y mortero*. D.F.: CENAPRED.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2017). *Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería*. CDMX: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- J. Ruiz, S. A. (1998). Desempeño experimental de estructuras de mampostería confinada rehabilitadas mediante el uso de malla de alambre. *Ingeniería Sísmica*, pp 59 - 79.
- L. E. Flores, J. M. (1999). Estudio de la rehabilitación de centrales telefónicas empleando malla y aplanado de concreto. *XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, pp 237 - 246.
- Pérez, J., Flores, L., & Pérez Gavilan, J. (2020). Comportamiento de un muro de mampostería prefabricado ante cargas laterales. *XXII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*: SMIE.
- Pineda, J., & Alcocer, S. (2003). *Comportamiento ante cargas laterales de muros de mampostería confinada reforzadas con mallas de alambre soldado*. D.F.: CENAPRED.
- Ruiz, J., J. A. Zepeda, & S. Alcocer. (1994). Reparación y refuerzo de una estructura tridimensional de mampostería confinada de dos niveles a escala natural. *CENAPRED*, pp 596 - 605.
- Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. (2019). *Edificaciones de Mampostería*. CDMX: Limusa.
- Taveras, M. (2008). *Revisión de las recomendaciones para modelar y analizar estructuras de mampostería confinada ante carga lateral*. D.F.: Tesis Maestría.