

SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

**PROPUESTA DE PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN:
ENSAYES DE MUROS DE BLOQUE DE CONCRETO NO ESTRUCTURALES Y
ESTRUCTURALES**

Leonardo Flores Corona

Joel Aragón Cárdenas

Dirección de Investigación
Subdirección de Vulnerabilidad Estructural

CENAPRED

Diciembre de 2021

CONTENIDO

CONTENIDO	2
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO 2 PROGRAMA EXPERIMENTAL	4
VARIABLES DE ESTUDIO	4
Muros no estructurales ante flexión fuera del plano.....	4
Muros estructurales largos con cortante en su plano.....	5
MUROS NO ESTRUCTURALES ENSAYADOS A FLEXIÓN FUERA DE SU PLANO	5
Geometría	5
Muros no estructurales dentro de un marco.....	5
Muros no estructurales en voladizo	6
CAPÍTULO 3 SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA	8
MESA INCLINABLE	8
Predicción de la resistencia	10
ENSAYES DE MUROS LARGOS CON FUERZA CORTANTE EN SU PLANO	10
CAPÍTULO 4 CALENDARIO DE ACTIVIDADES	14
REFERENCIAS	15

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

El estudio experimental del comportamiento estructural de muros de mampostería ha tenido un avance constante en las últimas décadas con series de ensayos experimentales lo que ha llevado a la actualización de las normas de diseño de mampostería del reglamento de construcciones de la Ciudad de México en sus versiones de 2004 y 2017.

Sin embargo, en los últimos años no se ha incluido el estudio de muros de bloque con refuerzo horizontal entre las hiladas. Por lo tanto, en el CENAPRED se propuso el estudio del comportamiento de muros de bloque hueco de concreto estudiando las principales variables en la modalidad de mampostería con refuerzo interior. En una primera etapa se ensayaron ante fuerza lateral cíclica muros de bloque hueco de concreto de resistencia a compresión baja, en los cuales se varió la cuantía de refuerzo horizontal, la carga vertical mantenida durante cada ensaye y el detalle de anclaje de los alambres horizontales (Flores, 2019).

En esta segunda etapa del proyecto se estudió el comportamiento de muros de mampostería de piezas de concreto de resistencia alta a compresión, reforzados con distinta cuantía de acero horizontal entre las hiladas, y manteniendo la misma carga vertical.

CAPITULO 2

PROGRAMA EXPERIMENTAL

VARIABLES DE ESTUDIO

Se estudiarán dos proyectos, uno será el comportamiento de muros no estructurales trabajando con cargas fuera de su plano, donde predomina la flexión, sin carga axial, y el otro caso es una serie de muros largos de mampostería de bloque con refuerzo interior, con y sin aberturas.

Muros no estructurales ante flexión fuera del plano

- Tipo de pieza:
 - 1) Bloque macizo de concreto;
 - 2) Bloque doble hueco de concreto;
- Calidad de las piezas:
 - 1) No estructural, de resistencia baja, $f_m' = 20 \text{ kg/cm}^2$;
 - 2) Estructural, de resistencia a compresión alta, $f_m' = 70 \text{ kg/cm}^2$;
- Espesor del muro:
 - 1) Bloques $10 \times 20 \times 40 \text{ cm}$, espesor de muro $t = 10 \text{ cm}$;
 - 2) Bloques $12 \times 20 \times 40 \text{ cm}$, espesor de muro $t = 12 \text{ cm}$;
 - 3) Bloques $15 \times 20 \times 40 \text{ cm}$, espesor de muro $t = 15 \text{ cm}$;
- Tipo de apoyo:
 - 1) Empotrado en la base y con conector de cortante arriba, dentro de un marco;
 - 2) Empotrado en la base y libre arriba: en voladizo;
- Tipo de conexión superior:
 - 1) Solución Tipo 1: anclado 10 cm a la viga y con traslape de 40 cm ;
 - 2) Solución Tipo 2: anclado 10 cm a la viga y con conector de tubular $57 \times 19 \text{ mm}$ ($2\frac{1}{4} \times 3\frac{3}{4}$ ");
- Modalidad de refuerzo: mampostería con refuerzo interior más un caso de comparación con mampostería confinada (con castillos y dala).
- Cuantía de refuerzo: refuerzo horizontal mínimo, medio, máximo; refuerzo vertical mínimo, medio, máximo.
 - 1) Refuerzo vertical solo en los bordes (menor al mínimo);
 - 2) Refuerzo vertical distribuido, mínimo;
 - 3) Refuerzo vertical distribuido, máximo;
 - 4) Refuerzo vertical distribuido, muy superior al máximo;

Considerando lo anterior se proponen las siguientes combinaciones:

1. Muro dentro de marco, de piezas macizas, una barra del No. 3 en cada extremo, anclaje 1
2. Muro dentro de marco, de piezas macizas, 1#3 en cada extremo y 1#3 al centro, anclaje 2
3. Muro dentro de marco, de piezas huecas, 1#3 en cada extremo, anclaje 1
4. Muro dentro de marco, de piezas huecas, 1#3 en cada extremo y #3@60, anclaje 2
5. Muro en voladizo, piezas huecas, confinado con castillos de $10 \times 15 \text{ cm}$, 4#3, E#2@15 cm
6. Muro en voladizo, piezas huecas, con refuerzo interior mínimo 1#3 en cada extremo
7. Muro en voladizo, piezas huecas, con refuerzo interior máximo #3@60 cm
8. Muro en voladizo, piezas huecas, con refuerzo interior adicional por definir (como cuantía muy alta).

Muros estructurales largos con cortante en su plano

Para el estudio de muros largos de mampostería con refuerzo interior se estudiarán las siguientes variables:

- Geometría de muro:
 - 1) Muro corto (pendiente por lo pronto);
 - 2) Muro cuadrado (ya se estudió una serie muy completa en 2019 y 2020);
 - 3) Muro largo;
 - 4) Muro largo con aberturas para puerta y ventana.
- Tipo de refuerzo:
 - 1) Refuerzo vertical menor que el mínimo, sólo en los bordes, y sin refuerzo horizontal;
 - 2) Refuerzo vertical y horizontal mínimo, cumpliendo con normas;
 - 3) Refuerzo vertical y horizontal máximo;
- Nivel de carga axial en muros a cortante: medio ($\sigma = 3 \text{ kg/cm}^2$).

MUROS NO ESTRUCTURALES ENSAYADOS A FLEXIÓN FUERA DE SU PLANO

Geometría

Las características de los especímenes ensayados a flexión fuera del plano se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Características de muros no estructurales a flexión fuera del plano

No.	Nombre	Bloque Tipo	Refuerzo vertical	Refuerzo horizontal	t cm	L cm	Anclaje	Notas
1	MFP-1	Macizo	1#3 borde	---	10	266	Tipo 1	En marco
2	MFP-2	Macizo	#3@120	2 (5/32"@42)	10	266	Tipo 2	En marco
3	MFP-3	Hueco	1#3 borde	---	10	266	Tipo 1	En marco
4	MFP-4	Hueco	#3@60	2 (5/32"@42)	10	266	Tipo 2	En marco
5	MFP-5	Hueco	Castillo 4#3	---	10	266	---	Voladizo
6	MFP-6	Hueco	1#3 borde	---	10	266	---	Voladizo
7	MFP-7	Hueco	#3@60	2 (5/32"@42)	10	266	---	Voladizo
8	MFP-8	Hueco	#4@40	2 (5/32"@42)	10	266	---	Voladizo

Muros no estructurales dentro de un marco

Los primeros cuatro especímenes se construirán dentro de un marco de concreto reforzado del que se dispone en el laboratorio del CENAPRED, sobre una viga de cimentación de 80×50×370 cm, que cuenta con columnas de 28×28 cm de sección y trabe superior de 25×40 cm; la distancia libre entre columnas es de 272 cm donde se puede construir un muro de 266 cm, quedando una holgura de 3 cm a cada lado.

Se construirán con distintas soluciones de conexión al marco en su parte superior, con uno de dos tipos de anclaje colocado en las esquinas del muro, diseñado para evitar transmitir esfuerzos ante deformaciones horizontales en el plano del muro, pero que restrinja el volteo fuera del plano.

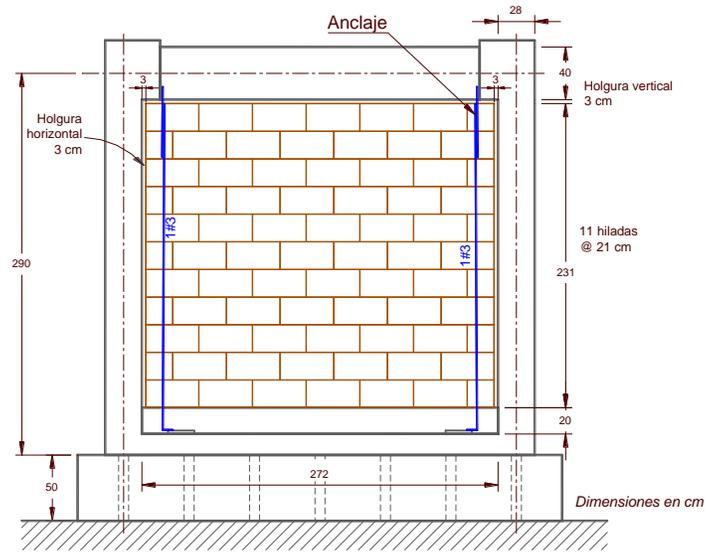


Figura 1 Muro MFP-1, no estructural dentro de un marco de concreto (desligado)

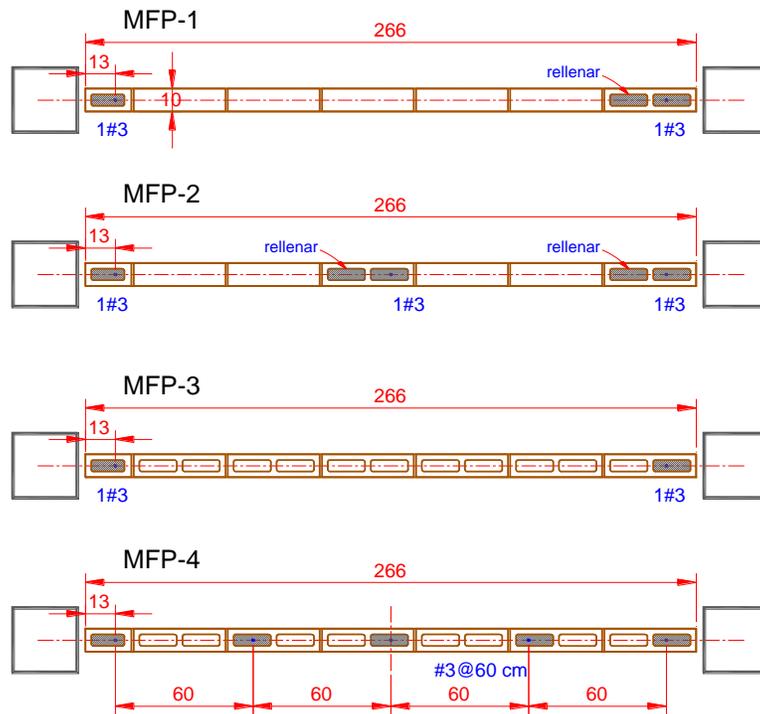


Figura 2 Sección de los muros dentro del marco de concreto, MFP-1 a 4

Muros no estructurales en voladizo

Los siguientes cuatro muros se desplantarán sobre vigas de cimentación de concreto reforzado de 80×50×300 cm y se les construirá una dala de 16×20 cm en su parte superior. Los dos últimos muros se desplantarán sobre una cadena de cimentación de 16×20 cm sobre la viga, para el anclaje del refuerzo vertical distribuido a lo largo de los especímenes. En la Figura 3 se muestra la geometría propuesta y en la Figura 4 el armado de dichos especímenes.

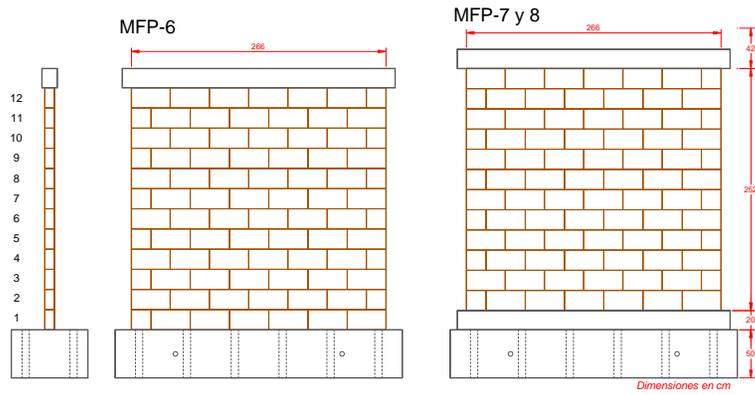


Figura 3 Geometría de los especímenes cuadrados

La instrumentación interna se hará mediante deformímetros eléctricos adheridos (strain gauge) pegados a las barras verticales en la base y algunos a una altura intermedia (ver Figura 4).

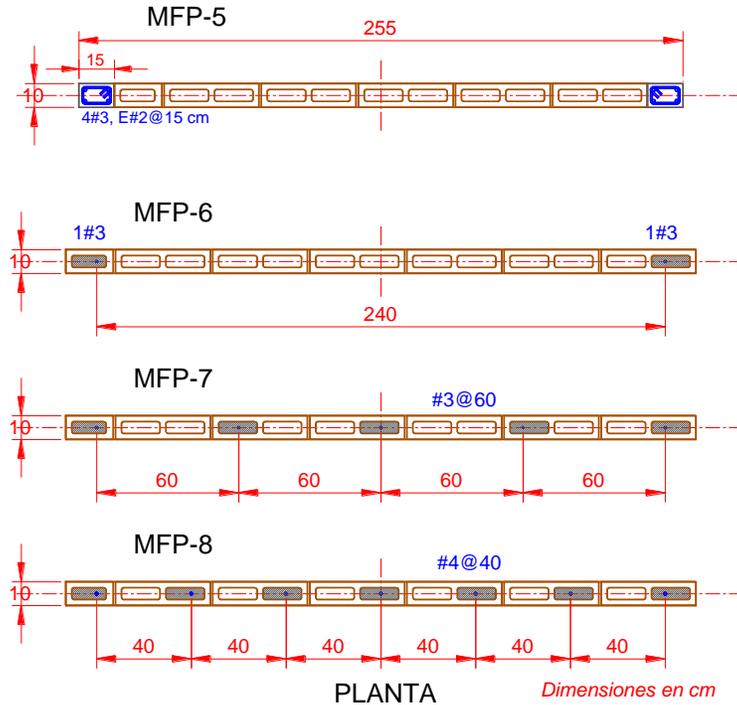


Figura 5 Armado de los especímenes en voladizo

Para la primera etapa se colocará el muro sobre una plataforma accionada por un actuador hidráulico controlado por computadora y se permitirá lentamente la inclinación tomando registros de la instrumentación interna y externa durante el giro del muro.

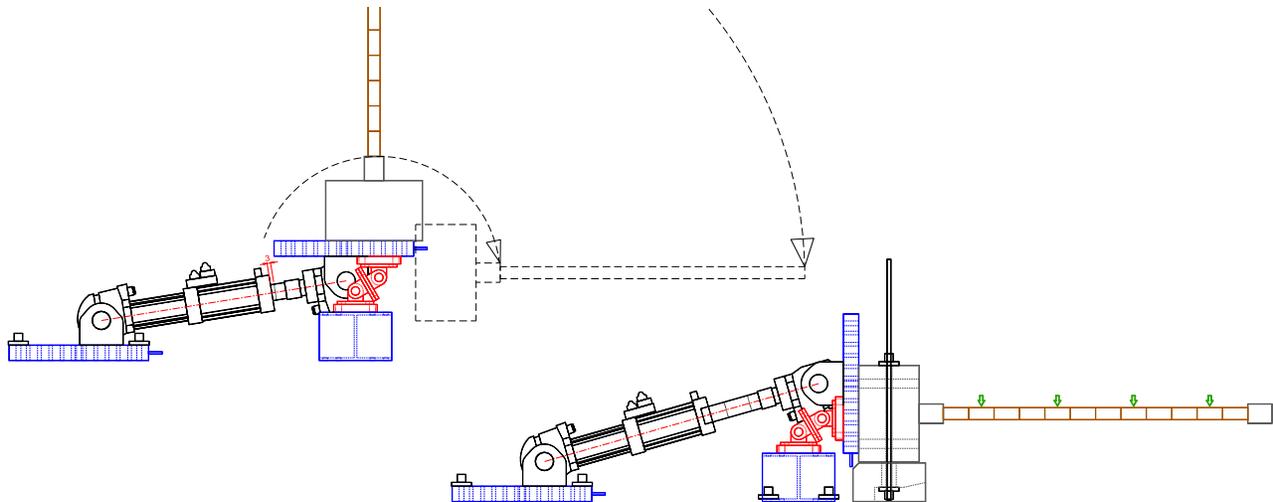


Figura 6 Marco de carga de especímenes a flexión. Etapa 1, giro a 90°

A continuación se fijará la base (simulando empotramiento) y se colocarán una serie de vigas en forma piramidal que irán repartiendo la carga y sumando su peso propio a la acción sobre el muro. Sobre la viga final se colocará un gato hidráulico para aplicar el resto de la carga sobre el muro, hasta la falla.

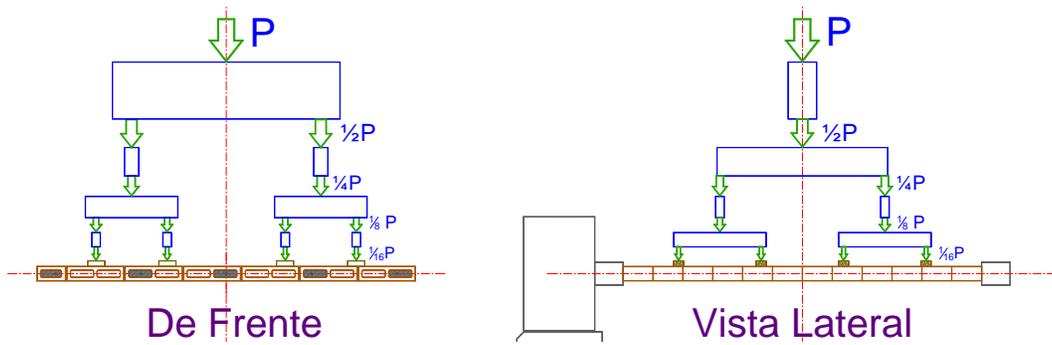


Figura 7 Marco de carga de especímenes a flexión. Etapa 2, carga uniformemente distribuida

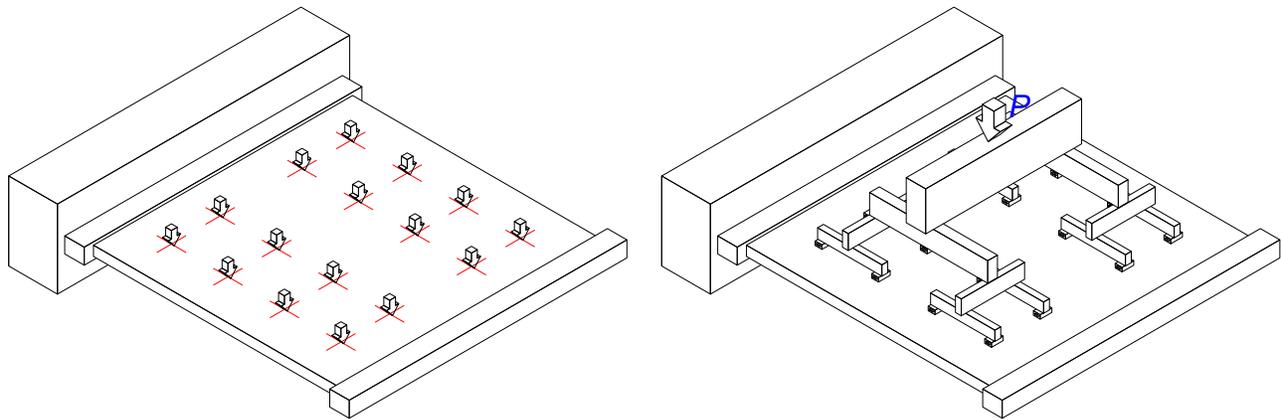


Figura 8 Marco de carga de especímenes a flexión. Etapa 2, carga uniformemente distribuida

Predicción de la resistencia

La resistencia de los especímenes ensayados a flexión fuera del plano se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Resistencia de los muros no estructurales ensayados a flexión fuera del plano

No.	Nombre	Refuerzo vertical total	A_s cm ²	t cm	d cm	L cm
1	MFP-1	2#3	1.42	10	5	266
2	MFP-2	3#3	2.13	10	5	266
3	MFP-3	2#3	1.42	10	5	266
4	MFP-4	5#3	3.55	10	5	266
5	MFP-5	8#3 castillos	10.16	10	7.36	266
6	MFP-6	2#3	1.42	10	5	266
7	MFP-7	5#3	3.55	10	5	266
8	MFP-8	7#4	8.89	10	5	266

ENSAYES DE MUROS LARGOS CON FUERZA CORTANTE EN SU PLANO

Se realizarán muros largos con y sin aberturas desplantados sobre vigas de cimentación de concreto reforzado de 80×50 cm. Los dos primeros especímenes tendrán diferente cuantía de refuerzo interior, uno sin refuerzo y solo con barras en los bordes para evitar la falla por flexión y otro con una distribución típica de

refuerzo horizontal y vertical. El tercer espécimen tendrá una abertura en forma de puerta y una como ventana. La geometría de los muros se muestra en la Figura 9 y en la Figura 10.

Tabla 3 Características de muros estructurales largos, a cortante en su plano

No.	Nombre	Bloque Tipo	Refuerzo vertical	Refuerzo horizontal	t cm	L cm	Notas
1	MBRI-16	Alta IBM	2#3 bordes	- - -	12	553	
2	MBRI-17	Alta IBM	2#3 y #3@60	2 (3/16"@42)	12	553	
3	MBRI-18	Alta IBM	2#3 y #3@60	2 (3/16"@42)	12	553	Aberturas

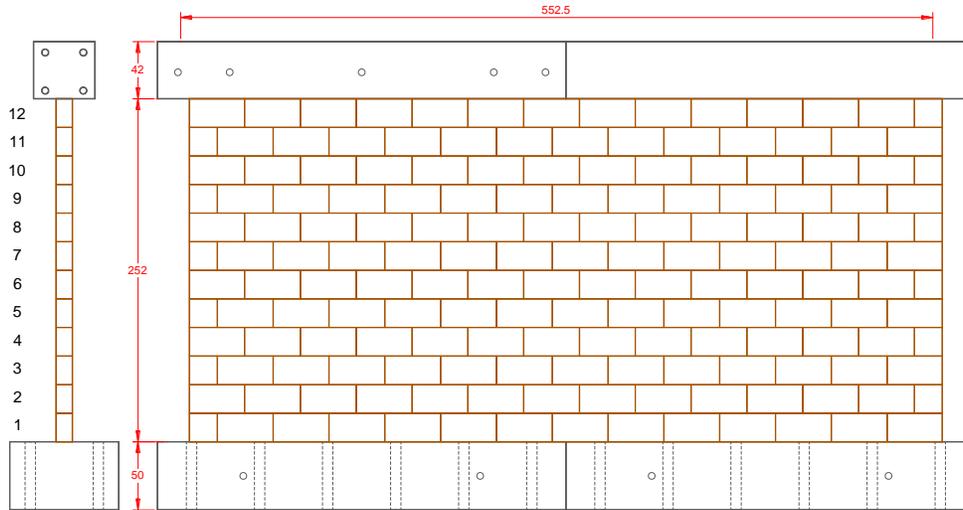


Figura 9 Geometría de los especímenes largos sin aberturas

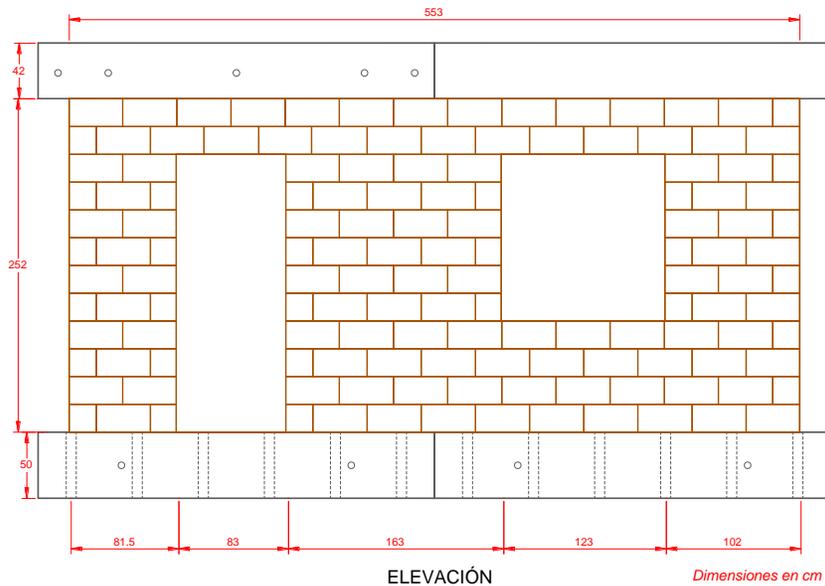
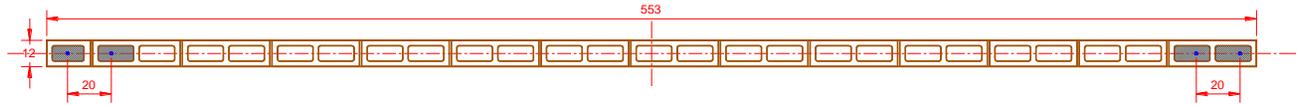


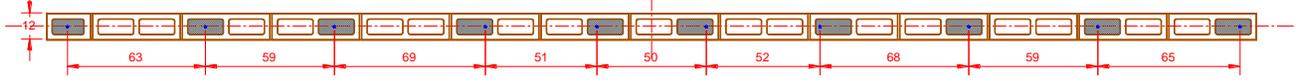
Figura 10 Geometría del espécimen largo con aberturas

El armado interior se muestra en la Figura 12. La instrumentación interna constará de deformímetros eléctricos adheridos a las barras y alambres de refuerzo y se muestra en la misma figura.

Espécimen MBRI-16



Espécimen MBRI-17



Espécimen MBRI-18

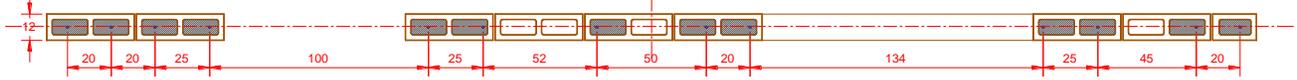
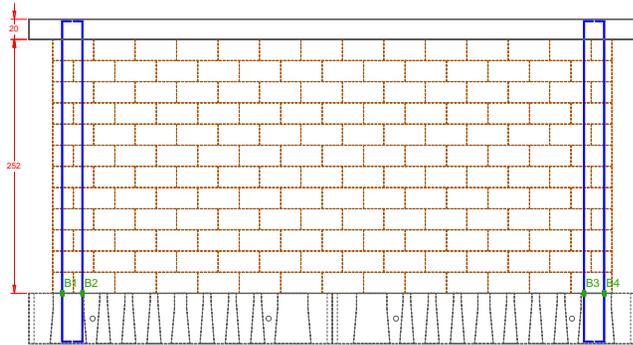
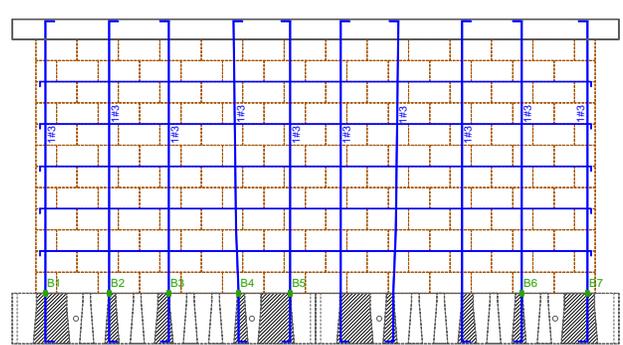


Figura 11 Armado de los especímenes largos

Espécimen MBRI-16



Espécimen MBRI-17



Espécimen MBRI-18

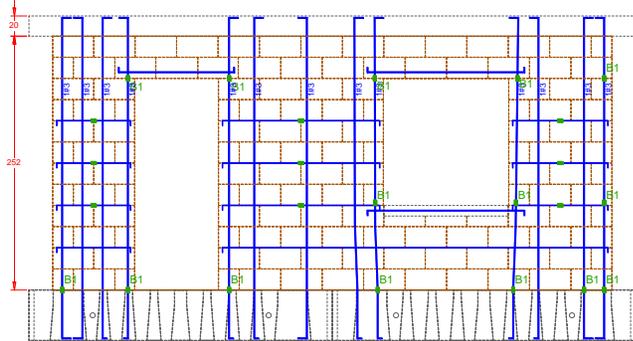


Figura 12 Armado e instrumentación de los especímenes largos

La instrumentación externa será la misma para los dos especímenes largos sin huecos y se cambia para medir los distintos paneles en que se divide el muro con puerta y ventana, como se muestra en la Figura 13.

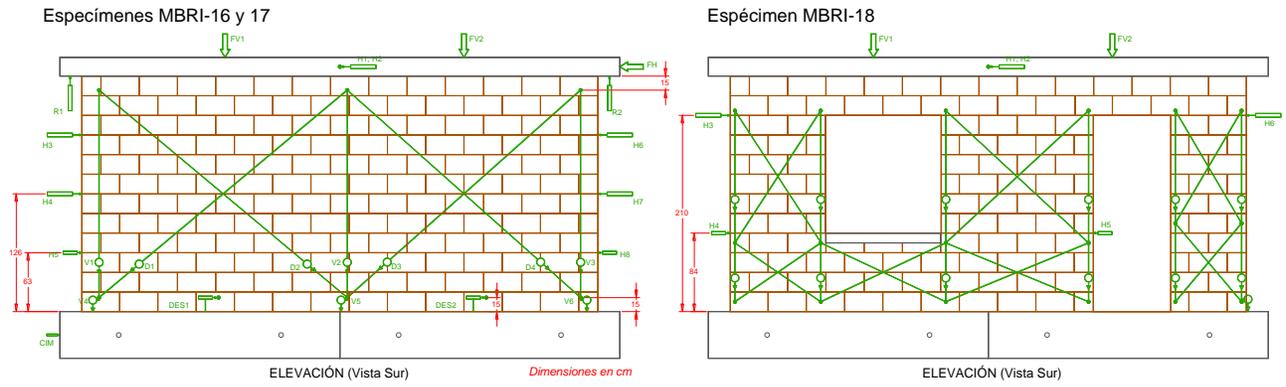


Figura 13 Instrumentación externa de los especímenes largos

CAPÍTULO 4

CALENDARIO DE ACTIVIDADES

En la siguiente tabla se muestra el calendario de actividades propuesto (en semanas) para la primera parte del proyecto, de ensayos de muros no estructurales a flexión fuera del plano.

No.	Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	Diseño de los especímenes	X																						
2	Suministro de bloques doble hueco de concreto		X																					
3	Suministro de barras no. 3 y no. 4 de refuerzo vertical		X																					
4	Suministro de alambres 5/32 pulg de refuerzo horizontal		X																					
5	Suministro y preparación de madera para cimbras		X																					
7	Suministro de cemento y agregados		X																					
8	Muros no estructurales de bloque hueco, ref int, a flexión																							
9	Limpieza de huecos de vigas de cimentación existentes	X																						
10	Habilitado e instrumentación de alambres y barras		X	X																				
11	Construcción de viga de apoyo de concreto reforzado			X	X																			
12	Construcción de los muros					X	X	X	X															
13	Montaje del dispositivo de inclinación a 90°		X																					
14	Pintado y cuadrículado de los muros							X	X															
15	Instrumentación externa de los muros							X		X	X	X	X	X	X	X	X	X						
16	Montaje del modelo en la zona de ensaye							X		X	X	X	X	X	X	X	X	X						
17	Ensaye de los especímenes									X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		
18	Ensaye de materiales de construcción																							
19	Demolición									X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
20																								

REFERENCIAS

- Flores L.E. (2019-a), “Ensayes de muros de bloque hueco de concreto con refuerzo interior ante carga lateral y ante carga vertical”, Informe Interno, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, diciembre, 49 pp.
- Flores L.E. (2019-b), “Ensayes de muros de bloque hueco de concreto con refuerzo interior ante carga lateral”, Memorias del XXII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Monterrey, N.L. México, 20 a 23 de noviembre, art VII-07, 26 pp.
- Flores L.E., Pérez J.A, Pérez Gavilán J.J (2021), “Ensaye de muros de bloque hueco de concreto de resistencia alta con refuerzo interior, variando el refuerzo horizontal”, Memorias del XXII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, Aguascalientes, Ags., 18 a20 de febrero de 2021, 17 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.
- Gobierno de la Ciudad de México (CDMX, 2020), “Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería con comentarios”, Gaceta Oficial de la Ciudad de México, No. 454, 19 de octubre de 2020, pp. 29-157.
- NMX-C-083-ONNCCE (2014), “Industria de la construcción – Concreto – Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes – Método de ensayo”, Norma Mexicana, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 10 pp.
- NMX-C-128-ONNCCE (2013), “Industria de la construcción – Concreto sometido a compresión – Determinación del módulo de elasticidad estático y relación de Poisson”, Norma Mexicana, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 12 pp.
- NMX-C-404-ONNCCE (2012), “Industria de la construcción – Mampostería – Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural – Especificaciones y métodos de ensayo”, Norma Mexicana, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 16 pp.
- NMX-C-464-ONNCCE (2010), “Industria de la construcción – Mampostería – Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto – Método de ensayo”, Norma Mexicana, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 23 pp.
- Proy-NMX-C-559-ONNCCE (2020), “Industria de la Construcción – Mampostería – Procedimientos Constructivos para Muros de Mampostería – Requisitos”, Proyecto de Norma Mexicana, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, 65 pp
- Pérez J.A. (2020), “Reporte del muro de block reforzado interiormente con piezas open en denominado MBRI-12 ensayado en el Cenapred el 18 de agosto de 2020”, Reporte de ensaye, Industrial Bloquera Mexicana, 26 de agosto de 2020, 6 pp.