

MTRA. MARÍA DE JESÚS GÓMEZ CRUZ

Directora de la División de Ciencias y Artes
para el Diseño UAM Xochimilco

INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Subdirección de Riesgos Estructurales

Periodo: 1 de febrero de 2018 al 1 de agosto de 2018

Proyecto: Programa Especial de Prevención y Mitigación del Riesgo de Desastres

Clave: XCAD000493

Responsable del Proyecto: Dr. Óscar Alberto López Bátiz

Asesor Interno: Arq. Eduardo Galicia Tapia.

Luis Fidel Bello Olorza Matrícula: 2142038384

Licenciatura: Arquitectura

División de Ciencias y Artes para el Diseño

Tel.: 55 66 49 57 40 Cel.: 045 7441 72 50 45

Correo electrónico: lfbo_12@hotmail.com

Índice

Introducción.....	3
Objetivos generales.....	3
Actividades realizadas.....	4
Metas alcanzadas.....	9
Resultados y conclusiones.....	9
Recomendaciones.....	10
Referencias.....	11
Anexo: Reporte Fotográfico.....	12

Introducción

Después del sismo del 19 de septiembre de 2017, el profesionista se pregunta cómo es que se comportan las estructuras de las construcciones y especialmente de las viviendas, es así como se concibe la primicia de esta investigación, en el que se busca comprender como actúa una vivienda de autoconstrucción ante un fenómeno geológico y en que afecta este en la seguridad de los habitantes de la vivienda.

“Durante más de una década en el Laboratorio Estructuras Grandes del CENAPRED se han venido realizando ensayos sísmicos cuasiestáticos de muros de mampostería a escala natural. La información recabada y los resultados correspondientes han constituido la base para que el comité normativo para estructuras de mampostería de la Ciudad de México (entonces Distrito Federal) elabore la Norma Técnica Complementaria para estructuras de mampostería en sus ediciones 2004 y, la actual, 2017. El documento normativo actual es considerado en los países en vías de desarrollo, o de economías emergentes, como uno de los documentos vanguardistas para el diseño y construcción de este tipo de soluciones estructurales.”

(Bennets, Felipe; Solís, Isabel; López Oscar. 2018)

Como bien se sabe, la mayoría de la población mexicana desde años atrás ha tenido la necesidad de construir sus viviendas de manera autónoma, sin embargo esto no significa que tengan la seguridad estructural que sus habitantes desearían debido a las diferentes situaciones que las construcciones pueden presentar desde su inicio hasta su conclusión.

En la construcción de una vivienda pueden encontrarse distintos factores que pueden convertirla en vulnerable; desde el tipo de suelo, una incorrecta cimentación, la calidad y el estado de los materiales, así como una mal lograda concepción estructural.

Considerando las características antes mencionadas, en este trabajo se pretende estudiar el comportamiento de cinco modelos (muros) con características similares a las de autoconstrucción; también revisar su resistencia en situaciones críticas como los sismos.

Objetivos generales

- Estudiar el comportamiento de especímenes de mampostería similares a los identificados en viviendas del sector informal, generalmente denominadas como de autoconstrucción (tabique rojo y block de concreto), con y sin confinamiento, en situaciones críticas (sismos).
- Analizar la disposición de los materiales utilizados en los especímenes respecto a su resistencia y modo de falla.
- Examinar el nivel de seguridad de las viviendas de mampostería del sector autoconstrucción, con o sin confinamiento.
- Analizar los factores de vulnerabilidad de las viviendas de autoconstrucción con y sin confinamiento.
- Buscar alternativas de reparación de muros de mampostería de autoconstrucción y verificar su resistencia ante situaciones críticas (sismo).
- Comprender el proceso de obra de una vivienda de autoconstrucción, así como el criterio del diseño arquitectónico y estructural.

- Comprender, de manera práctica, el sistema constructivo tradicional (muros de carga de mampostería) que es utilizado en la mayoría de las viviendas en el país.

El presente informe pretende dar cuenta del desarrollo de las actividades realizadas en el servicio social del 01 de febrero al 01 de agosto de 2018, como parte del proyecto “Estudio del comportamiento de viviendas construidas en asentamientos irregulares para evaluar el riesgo por sismo y viento”.

Actividades realizadas

1. Colaboración en la construcción de especímenes de prueba.

Para estudiar el comportamiento de las estructuras de mampostería en vivienda del sector informal, se construyeron cinco especímenes de muros de mampostería de dimensiones de 2.5 metros x 2.5 metros con las siguientes características:

- 1) Tipo de material para los muros
 - Tabique macizo de arcilla recocida artesanal;
 - Bloque hueco de concreto.
- 2) Geometría
 - Se tendrá una relación de aspecto unitaria
 - Elementos de refuerzo, castillos:
 - Al centro
 - En los dos extremos
 - Sin castillos

Para unir los tabiques se utilizó un mortero dosificado por volumen con una proporción cemento-arena 1:3 en el caso del tabique rojo y 2:5 para el block de concreto. El refuerzo empleado en los castillos fue del tipo pre-armado con cuatro barras de 3mm de diámetro y estribos de alambroón de 3mm de diámetro, éstos colocados a cada 15cm. Los elementos de concreto se cimbraron con placas de madera de segunda mano y se colaron con concreto con proporciones dosificadas por volumen (cemento, arena, grava y agua) 2.5:5:4 y se dejó curar por 10 días. En la parte superior del muro se construyó una dala de las mismas dimensiones y armado que los castillos, al igual que una losa de techo es de 45 cm de ancho por 250 cm de largo, el peralte de la losa de concreto armado fue de 10 cm.

Los modelos trabajados en el estudio son:

- 1) **Modelo MIS1:** mampostería de tabique de arcilla recocida artesanal, sin refuerzo.
- 2) **Modelo MIS2:** mampostería de tabique de arcilla recocida artesanal, con refuerzo de un castillo al centro de la longitud del muro.
- 3) **Modelo MIS3:** mampostería de tabique de arcilla recocida artesanal, con refuerzo de castillos en los extremos del muros, confinamiento tradicional.
- 4) **Modelo MIS4:** mampostería de bloque hueco de concreto artesanal, sin refuerzo.
- 5) **Modelo MIS5:** mampostería de bloque hueco de concreto artesanal, con refuerzo de castillos en los extremos del muros, confinamiento tradicional.

La nomenclatura significa: “Muro de mampostería Informal, sujeto a Sismo” y un número para indicar la secuencia incremental. Para la construcción de los muros se realizaron los siguientes actividades:

- ✓ Se limpió la viga de concreto de dimensiones de 3m x 0.80m x 0.50m donde se desplató el muro, retirando los cubos de concreto armado que tenían anteriormente con el resto de los castillos que contenían. (En el caso de los muros sin castillos de refuerzo no fue necesario limpiar los huecos, mientras el que cuenta con castillo interior solo se necesitó limpiar el hueco central.)
- ✓ Se colocó plástico en las paredes de los dos huecos que se limpiaron para evitar que el concreto nuevo se pegara a la viga de desplante o cimentación.
- ✓ Se colocaron los refuerzos para los castillos pre-armados en los huecos vacíos de modo que estos quedaran con una altura de 2.50 metros sobre nivel de la superficie superior de la viga. Posteriormente estos huecos, con los refuerzos para castillo insertados, se colaron con concreto (cemento, grava, arena y agua) con proporciones dosificadas por volumen (2.5:3:4). Se dejó curar por tres días.
- ✓ Se niveló la zona de desplante del muro con mortero (mortero de albañilería-arena) con proporción 2:5.
- ✓ Se inició el proceso de construcción del muro, teniendo como límites los castillos en el caso del que tenía castillos en los extremos, mientras que los que no contaban con esto se contenían con las mochetas de dimensiones 0.73 m x 2.5 m. El trabajo de construcción de los modelos duró de tres a cinco semanas.
- ✓ Después de terminar el muro se colocó la armadura de la losa, se ubicaron tubos de PVC de 11 cm a cada 20 cm sobre el armado de la losa para situar en ellos las barras de sujeción al muro de reacción de los modelos. Eventualmente se colocó la cimbra con madera de segunda mano. (ver ilustración 1)

Para los modelos MIS2 y MIS3 con castillos, se colaron primero éstos con concreto premezclado de fábrica después de colar, se tomaron muestras del concreto en cilindros para la evaluación de las propiedades de los materiales. Los cilindros se probaron después de los 28 días de edad. (ver ilustración 2)

- ✓ En ese instante después de colar los castillos, se realizó la misma actividad con la dala superior y la losa de techo, con concreto premezclado de fábrica.

Para los modelos MIS4 y MIS5, se colaron los castillos y la losa con concreto (cemento, arena, grava y agua) con dosificaciones 2.5:4:5, el concreto se realizó en una mezcladora; después de colar, se tomaron muestras del concreto en cilindros para la evaluación de las propiedades de los materiales. Los cilindros se probaron después de los 28 días de edad.

La mampostería de tabique o block hueco es un material heterogéneo formado por piezas prefabricadas y mortero para unirlos. En ocasiones la mampostería se puede reforzar en su interior con acero de manera vertical, horizontal o en ambas direcciones, sin embargo en el estudio no se empleó ningún tipo de refuerzo interior más que de confinamiento perimetral con castillos y dalas.

Junto con los especímenes de muros, para identificar las propiedades de la mampostería, también se ensayaron las pilas y muretes construidos de piezas y morteros que se utilizaron en la obra. Para calcular la resistencia de un muro de mampostería ante las cargas laterales y cargas verticales es necesario hacer este tipo de pruebas para obtener la capacidad de la mampostería a la carga axial y tensión-compresión diagonal.

La resistencia a la compresión de la mampostería se determina en pilas que tienen una sola pieza de base por varias de altura, mientras que la tensión-compresión diagonal se determina mediante muretes que tienen una pieza y media como base por una altura igual o similar a su base. Según el reglamento de construcción para el Distrito Federal las pilas estarán formadas por lo menos con tres piezas sobrepuestas.

La relación altura a espesor de la pila estará comprendida entre dos y cinco; las pilas se ensayarán en no menos de 28 días después de construirse. Mientras tanto los muretes tendrán una longitud de al menos una vez y media de longitud de la pieza y el número de hiladas necesario para que la altura sea aproximadamente igual a la longitud; de igual manera se probarán también a no menos de 28 días según el reglamento de construcción del Distrito Federal.

Se hicieron un total de ocho muretes y ocho pilas, que se conformaron de la siguiente manera:

- Cinco pilas de tabique rojo y tres pilas de block de concreto hueco.
- Cinco muretes de tabique rojo y tres muretes de block de concreto hueco.

Para la fabricación de las pilas y los muretes se utilizó una mezcla de arena y de mortero de albañilería (cemento, cal) con una proporción de 5:2. Para los muretes de tabique se necesitaron seis hiladas y se unieron con un centímetro y medio de mortero, para el caso de los muretes de block de concreto hueco, solo se utilizaron tres hiladas unidas por un centímetro y medio de mortero similar al utilizado para los tabiques rojo. En el caso de las pilas, las que fueron construidas con tabique rojo se usaron seis piezas sobrepuestas, mientras que en el caso del block de concreto se utilizaron 4 piezas. Las piezas se unieron con una mezcla similar de arena y mortero de albañilería (cemento, cal) con una proporción de 5:2. Como prioridad al terminar los modelos se examinaron de manera minuciosa las condiciones en las que se encontraban para proceder en la preparación para las pruebas destructivas. (ver ilustraciones 3 y 4)

2. Actividades preliminares a la prueba de los modelos.

- ♦ Se pintaron los muros de blanco para percibir de manera adecuada la manifestación del proceso de daño y falla, con la aparición de grietas.
- ♦ Se trazó una cuadrícula (en el muro con líneas a cada 25 cm en sentido tanto vertical como horizontal), para ubicar de mejor manera las grietas que aparecieron durante la prueba.
- ♦ Previo al movimiento del modelo al sitio de la prueba se realizó en este una mezcla de mortero pobre y se colocó en tiras de plástico en el suelo para poder nivelar la viga de concreto donde se desplantó el muro.
- ♦ Después de la colocación de la viga sobre el mortero se retiró el excedente y posteriormente se fijó el muro sobre la losa del laboratorio con ayuda de cuatro varillas de 2 pulgadas de diámetro, éstas se postensaron con ayuda de un gato hidráulico para fijar el modelo al piso de reacción y, por medio de la fricción entre la viga de cimentación del modelo y la losa de reacción, se pueda transmitir a la losa la fuerza lateral aplicada al modelo.
- ♦ Con ayuda de la grúa se colocó una placa de acero de dimensiones 1.6m x 1.6m, y 12 cm de espesor, en el muro de reacción y se fijó con tornillos y tuercas, posteriormente se fijó el gato hidráulico a la placa.

- ♦ Posteriormente se colocó una viga de dimensiones 4m x 0.4m x 0.40m y se fijó con tornillos y tuercas sobre al losa del modelo.
- ♦ Al estar asegurada la viga que se colocó sobre el muro, el gato hidráulico se fijó en esta con tornillos y tuercas. Para evitar que el peso del gato generará un momento en el muro, se aseguró el gato al muro con tensores para brindar mayor seguridad.

3. Instrumentación de los modelos.

El arreglo de instrumentos para tomar mediciones de los especímenes durante los ensayos se puede dividir en dos sistemas: la instrumentación interna y la externa.

La interna se define como aquella compuesta de medidores de deformación adheridos a barras y alambres de refuerzo y que queda adentro del colado del concreto (Flores, Leonardo; 2014), en esta prueba no se usó instrumentación interna.

La instrumentación empleada para los para la pruebas de los modelos son transductores eléctricos de desplazamiento. Los objetivos de los transductores para la prueba destructiva de los modelos son los siguientes:

- a) Conocer el desplazamiento lateral del modelo completo, así como el relativo de los muros y la losa.
- b) Medir las rotaciones de los muros, es decir deformaciones debidas a la flexión.
- c) Medir deformaciones angulares de los muros, causadas por deformaciones al corte.

Los transductores se colocaron de la siguiente manera:

- Tres transductores del costado este de 100mm en el lado superior, 50mm en el central y 25mm en el inferior;
- Dos transductores de costado oeste de 50mm en el lado superior y 25mm en el lado inferior;
- Dos transductores del lado posterior del muro de manera diagonal de 100mm en ambas direcciones;
- Dos transductores del lado posterior del muro de manera vertical de 50mm en ambos lados;
- Un transductor central de 25mm en el lado posterior del muro.

La colocación de los instrumentos se hizo con suficiente cuidado debido a su fragilidad y, adicionalmente se aseguraron con un imán para evitar que se cayeran de las vigas de acero. Para que los transductores funcionaran eficazmente se colocaron placas de acrílico para que no hagan contacto directo con la rugosidad del muro. (ver ilustración 5)

Durante los ensayos se registró la respuesta de los modelos por medio de un sistema de control instalado en una computadora; de modo que se recabó información de los desplazamientos presentados en diferentes puntos de los modelos, así como de la fuerza lateral aplicada al mismo. También se identificaron y revisaron los patrones de agrietamiento.

Para comprender el comportamiento y distinguir el modo de falla, es preciso conocer las contribuciones de las deformaciones por flexión y cortante al desplazamiento total de los

modelos. Para esta prueba se explicó que los muros se deformarían por efecto de flexión y por cortante.

Para el ensaye se aplicarán cargas horizontales cíclicas reversibles mediante uno gato hidráulico de doble acción. En los modelos no se aplicará carga vertical. La carga horizontal se aplicará en el eje de la dala superior.

4. Ensaye de los modelos.

Los primeros modelos que fueron sometidos a las pruebas destructivas fueron los construidos con tabique rojo recocido, los muros se experimentaron a diferentes niveles de intensidad, definida esta como el nivel de desplazamiento y fuerza lateral a la que se sujetaron los modelos.

Cabe mencionar que el programa de pruebas de estos modelos se llevó a la falla con un reducido número de ciclos de carga, se explicó antes de que se llevaran a cabo las pruebas que al ser muros similares a los que se construyen en la autoconstrucción, estos no soportarían más de cinco toneladas de fuerza lateral y probablemente no más de 25 mm de desplazamiento lateral global.

El muro que más soportó la carga fue el de que contaba con los castillos en los extremos del panel de mampostería, soportó casi las cinco toneladas; al momento del último ciclo de carga uno de los castillos se desprendió de la viga.

Por su parte el muro MIS1 fue el que menos fuerza lateral soportó; sin embargo al quedar aun de pie, se decidió reforzarlo con malla de gallinero y probarse de nueva cuenta. (ver ilustración 6)

El modelo MIS2 resistió tres toneladas de fuerza lateral, el refuerzo central brindo más apoyo; sin embargo fue el que más daño manifestó.

Finalizado las pruebas, los modelos de mampostería fueron retirados y posteriormente demolidos para continuar con las siguientes pruebas de los modelos MIS4 y MIS5.

Concluidos las pruebas con los modelos de mampostería de tabique rojo, se inició con la construcción de los modelos utilizando block hueco de concreto.

En el modelo MIS4 (sin refuerzo estructural), pudo soportar apenas dos toneladas y media, hay que recalcar que días antes de la prueba el muro ya presentaba fisuras debido al movimiento que se realizó al situarlo y postensarlo en la losa de reacción del laboratorio.

Durante la prueba, debido a la intensidad que se sometió al muro parte de las primeras hiladas del muro empezaron a desplazarse, por seguridad de los presentes no se siguió realizando la prueba y se propuso reforzarlo de la misma manera que el modelo MIS1 (malla de gallinero y con un acabado de mortero pobre). Este modelo, logró soportar tres toneladas en el último ciclo antes de que se detuviera la prueba por la razón antes mencionada.

Mientras tanto en el modelo MIS5 (con refuerzos estructurales) fue el que más resistió la fuerza lateral aplicada, sin embargo al seguir realizando los ciclos de carga al espécimen fue el que más daño manifestó de todos los modelos probados principalmente por el tipo de material utilizado.

5. Actividades posteriores a las pruebas.

Al finalizar las pruebas destructivas los muros fueron retirados del sitio de prueba y se demolieron los modelos A2, A3; mientras tanto los muros A1 y B1 fueron seleccionados para que se reforzaran y fueran sometidos a la misma prueba esperando un resultado superior al que mostraron en la primera.

La demolición fue realizada por los prestadores de servicio social con ayuda de la grúa y herramientas pesadas y supervisada por el equipo profesional del CENAPRED. (ver ilustración 7)

Metas alcanzadas

En mi opinión personal creo que la formación de un arquitecto, empieza verdaderamente al momento que este pisa por primera vez una obra, porque en el proceso de esta el arquitecto puede apreciar de una manera más rica que va desde lo específico a lo general.

Una de mis metas al entrar al servicio social, era conocer el ambiente de una construcción si bien en el CENAPRED no se hacen de manera específica viviendas o edificios de grandes niveles, el ambiente es lo más cercano que puedo estar de ese escenario debido a que aquí también encontré arquitectos e ingenieros que se han dedicado a esto toda una vida y de igual manera a gente que si bien no es profesional he aprendido mucho de ellos como constructor y como persona.

De igual manera, el hecho de presenciar las pruebas que se realizaron a los modelos me ha dado un punto de vista más desarrollado acerca de la construcción de la vivienda y ver las desventajas que deben sobre llevar la población mexicana al acudir a la autoconstrucción por no tener los recursos necesarios.

Así mismo en el transcurso del proyecto en el servicio social, mis compañeros y yo reafirmamos los conocimientos que adquirimos en la UAM-X y la habilidad de trabajar en equipo (ver ilustración 8) así como buscar soluciones a problemas que se van presentando en el camino; logre así mismo dominar temas que no había conocido en la materia de estructuras en cuanto a su funcionamiento y su comportamiento ante los desastres.

Resultados y conclusiones

De acuerdo a las observaciones y problemas que surgieron en el transcurso de la construcción y en la evaluación de los resultados de los ensayos, se obtienen las siguientes conclusiones y recomendaciones que continuación se presentan.

- Diseño, construcción de los muros.

Durante la construcción de muros de debe utilizar mano de obra calificada y especializada para disminuir la posibilidad de errores. Se debe seleccionar el procedimiento constructivo cuidadosamente para asegurar la fabricación de las viviendas de acuerdo a la relación con el diseño.

Se debe de prestar atención a la colocación y compactación de los tabiques macizos y block hueco de concreto; además de tener cuidado en garantizar la continuidad y buena adherencia en las juntas de construcción, aspectos que normalmente no se toman en cuenta de manera seria en la autoconstrucción.

- Comportamiento de los modelos.

En el caso del modelo MIS1 y MIS4 presentaron un comportamiento similar en el que ambos mostraron fallas parecidas, ambos se seleccionaron para reforzarse con malla de gallinero y posteriormente seguir estudiando.

Como se mencionó anteriormente los muros MIS2 y MIS3 mostraron comportamientos esperados, sin embargo ambos tuvieron que demolerse debido a las fallas que presentaron al igual que el modelo MIS5.

Con los resultados obtenidos mediante las pruebas que se realizaron, se tiene que pensar sobre una manera más adecuada para instruir a la población en la construcción de sus viviendas, ya que por distintas situaciones la vivienda puede llegar a ser de alto riesgo. En este trabajo se estudió el comportamiento de los muros de autoconstrucción con las fallas que normalmente presentan y apenas un par de muros pudieron presentar una resistencia ante la fuerza lateral aplicada adecuada y suficiente desde el punto de vista reglamentario. Se considera necesario profundizar en el proceso constructivo y el diseño en el que la población no pierda su patrimonio durante catástrofes.

Recomendaciones

En el caso de este proyecto, se recomienda mucha dedicación a los temas relacionados a estructuras y construcción, así mismo tener un conocimiento basto del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal o de igual manera dedicarle tiempo a la lectura del mismo para estar informado sobre los tipos de pruebas que se puedan realizar en la estancia.

Otra de las recomendaciones para este programa es estar preparados para tener un gran esfuerzo físico, ya que en el servicio social en el CENAPRED no solo se ve casos de construcción en teoría, sino que lo llevas a la práctica como fue en mi caso, en realizar cinco modelos distintos de muros con tutorías por parte de ingenieros, arquitectos y albañiles.

Referencias

1. ALCOCER, Sergio; MURIÁ, David; PEÑA ,Iván. Comportamiento dinámico de muros de mampostería confinada; Tesis Facultad de Ingeniería.
2. ARNAL, Simón; BETANCOURT, Max. Reglamento de construcciones para el Distrito Federal, Editorial Trillas.
3. BENNETS, FELIPE, SOLÍS ISABEL, LÓPEZ ÓSCAR. Ensaye de mampostería de edificación de vivienda del sector informal ante cargas de sismo y viento
4. FLORES, Leonardo; Ensaye de muros diafragma de mampostería con diferente cuantía de refuerzo horizontal. Sistema Nacional de Protección Civil.
5. GUZMÁN, Vicente. Revivir la vivienda de México Cosas de casas y autoproducción; Editorial UAM Xochimilco.
6. LÓPEZ, ÓSCAR; ARGÜELLO, Misael. Propuesta técnica para el estudio experimental de muros de mampostería informal sujetos a carga lateral del tipo sismo. Sistema Nacional de proyección civil.

**ANEXO:
REPORTE FOTOGRAFICO**



Ilustración 1 Cimbra lista para el colado de los primeros muros que se probaran.



Ilustración 2 Colaboración en colado y vibrado de las losas de los muros de mampostería.



Ilustración 3 Elaboración de pilas de tabique rojo recocido.



Ilustración 4 Elaboración de muretes con tabique rojo recocido.



Ilustración 5 Colocación de dispositivos de carga y de registro de movimiento.



Ilustración 6 Muro de tabique recocido durante prueba destructiva.



Ilustración 7 Demolición de unos de los muros, posterior a la prueba destructiva.



Ilustración 8 Equipo de trabajo de servicio social UAM-Xochimilco