

**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**

**Subdirección de Riesgos Estructurales**

**Periodo: 16 de noviembre de 2017 a 24 de agosto de 2018**

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

**Clave: XCAD000493**

**Responsable del Proyecto: Dr. Oscar Alberto López Bátiz**

**Asesor Interno: Mtro. Jaime Francisco Irigoyen Castillo**

**Daniel Hernández Segovia Matrícula: 2133030923**  
**Licenciatura: Arquitectura**  
**División de Ciencias y Artes para el Diseño**

**Tel: 4444 8885**

**Cel.: 04455 18288522**

**Correo electrónico: daniel\_hsegovia@hotmail.com**

## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	3
OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	3
ACTIVIDADES REALIZADAS .....	4
1. COLABORACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE PRUEBA.....	4
Geometría de los modelos .....	4
Construcción de los modelos. ....	5
2. COLABORACIÓN EN LA COLOCACIÓN DEL DISPOSITIVO DE CARGA E INSTRUMENTACIÓN DE MODELOS	6
3. COLABORACIÓN EN EL PROCEDIMIENTO DE PRUEBA DE LOS MODELOS.....	8
4. RESÚMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	9
BENEFICIOS OBTENIDOS Y OPINIÓ. ....	11
CONCLUSIONES GENERALES .....	11
REFERENCIAS.....	11

## INTRODUCCIÓN

Durante más de una década en el Laboratorio Estructuras Grandes del CENAPRED se han realizado ensayos sísmicos 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. No obstante lo anterior, en México más del 60% de las edificaciones habitacionales, principalmente edificación unifamiliar, aunque son de mampostería, son concebidas y construidas por los mismos usuarios; es decir, es edificación del sector informal que, por lo tanto, no cumple con los lineamientos establecidos en dicha norma.

Todos los especímenes que fueron probados hasta 2016 se construyeron con la mayor precisión y detalle, cumpliendo cabalmente con las propiedades de los materiales, la geometría de los elementos y las características del refuerzo en los elementos de confinamiento, castillos y dalas. Con base en lo anterior, los estudios experimentales realizados hasta 2016 no reflejan adecuadamente los patrones generales de desempeño o comportamiento que tendrían elementos muro cuyas características no coinciden con lo establecido en la normatividad. Por lo tanto, las funciones de vulnerabilidad existentes, pueden no resultar consistentes con, al menos, el 60% de la edificación para vivienda en el país.

Asumiendo que la edificación para vivienda en el país tiene una propuesta estructural a base de muros de mampostería, y que un porcentaje importante se construye en la informalidad, el presente estudio se plantea para revisar el comportamiento de este tipo de soluciones estructurales existentes ante la incidencia de fuerzas, que pueden generarle la ocurrencia de eventos sísmicos o hidrometeorológicos que generen vientos fuertes.

Por todo esto se planteó este estudio en donde las variables son principalmente dos: 1) la existencia y ubicación de los elementos confinantes de concreto reforzado (castillos en este caso); y, 2) el procedimiento de construcción realizado por personal no profesional, tratando de emular el proceso de construcción de una edificación del sector informal, comúnmente denominado autoconstrucción.

## OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos que se plantearon desde el inicio del servicio social fueron los siguientes:

- Mediante un adecuado diseño del ensayo y de la instrumentación, obtener el comportamiento de sistemas con muros de mampostería del sector informal.
- Estudiar el comportamiento elástico, el mecanismo de falla, patrones de agrietamiento, progreso del daño, así como la fuerza y deformación al agrietamiento, a la resistencia máxima y en etapas avanzadas de daño.
- En los casos donde se incluyan elementos de concreto reforzado, castillos y dalas, aún con distribución irregular y/o aleatoria, verificar la participación de los elementos de confinamiento, su acero longitudinal y transversal.

## ACTIVIDADES REALIZADAS

Las actividades fueron muy variadas, por lo que se organizan y describen de la siguiente manera:

### 1. COLABORACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE PRUEBA.

Los diversos muros se construyeron como mampostería sin confinamiento o inadecuadamente confinada con piezas de diferente tipo.

#### 1) Tipo de material para los muros:

- Tabique macizo de arcilla recocida artesanal
- Bloque hueco de concreto

#### 2) Geometría

- Se tiene una relación de aspecto unitaria
- Castillos como elementos de refuerzo:
  - Al centro
  - En los dos extremos
  - Sin castillos

Los modelos en los que he colaborado para su construcción han sido los siguientes:

- Modelo MIS1: Muro de tabique macizo de arcilla recocida artesanal, sin refuerzo.
- Modelo MIS2: Muro de tabique macizo de arcilla recocida artesanal, con refuerzo de un castillo al centro de la longitud del muro.
- Modelo MIS3: Muro de tabique macizo de arcilla recocida artesanal, con refuerzo de castillos en los extremos del muro, confinamiento tradicional.
- Modelo MIS4: Muro de bloque hueco de concreto artesanal, sin refuerzo.
- Modelo MIS5: Muro de bloque de concreto artesanal, con refuerzo de un castillo al centro de la longitud del muro.
- Modelo MIS6: Muro de bloque de concreto artesanal, con refuerzo de castillos en los extremos del muro, confinamiento tradicional.

La nomenclatura significa “Muro de mampostería Informal, sujeto a Sismo.”

#### Geometría de los modelos

Los modelos se desplantaron en vigas de cimentación de 800x400 mm y de 800x500 mm para proporcionar anclaje a las barras de los castillos y un empotramiento de los muros en su base. También sirven para transportar los modelos y para sujetar a la losa de reacción del laboratorio. Todos los muros tienen una altura y un largo final de 2.5 metros. En la parte superior se construye una dala-losa de 450 mm de ancho por 100 mm de peralte para la conexión al marco de carga y transmisión de las fuerzas.

En cuanto a los castillos, tienen cuatro barras de 6 mm de diámetro y estribos de alambrión liso de 3 mm, separados cada 150 mm, que corresponde, aproximadamente, a una y media vez el espesor del muro.

En la figura 1, se muestra el armado de la dala-losa, la cual va arriba de la última hilada de mampostería de los muros.

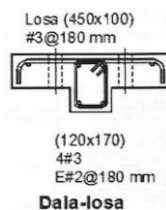


Figura 1: Armado de elementos de concreto

## Construcción de los modelos.

Limpieza y preparación de viga de cimentación: Las vigas de cimentación, como se explicó con anterioridad, sirven para desplantar los muros y anclar los castillos de los mismos, además de poder empotrar todo el elemento a la losa de reacción del laboratorio de materiales. Estos elementos tienen unas medidas de 800x400 mm y de 800x500 mm. La limpieza y preparación consistió en el colado de unos trapecios que se encuentran en el interior de la viga, en los que se anclan los castillos de los muros de prueba. Una vez colados, se limpia y prepara la superficie para empezar la colocación de la primera hilada de los muros.

Desplante de muros: Una vez teniendo la mezcla preparada, se inició la colocación de los muros siguiendo los hilos guía previamente puestos. Debido a que este proyecto busca que se simule la autoconstrucción que se da en la Ciudad de México, si bien era importante hacerlo lo mejor posible, evidentemente se tuvieron errores como, por ejemplo, el tamaño de las juntas no siempre fue el mismo o no se pudo lograr que todo el muro quedara a plomo, los cuales no son tan graves para las pruebas posteriores. Se llegó a una altura de 2.40 metros, para posteriormente, con los 10 cm de la dala y losa, llegar a los 2.50 metros.

Al mismo tiempo se hicieron pilas y muretes, que son modelos a escala de los muros construidos, los cuales se prueban aparte. Construimos 12 de tabique de arcilla recocida, seis pilas y seis muretes; de bloques de concreto construimos seis, tres pilas y tres muretes. La prueba de estos modelos se hace para probar la resistencia de los mismos materiales que se usaron para construir los modelos, tanto la mampostería como el mortero. Las pilas se someten a compresión lineal mientras que los muretes a compresión diagonal.

Habilitado del refuerzo y colocación en sitio: Para las dalas y losas, primero se habilitó el refuerzo en sitio, con las medidas y materiales necesarios, para después colocarlos en su lugar arriba de la última hilada de mampostería. Se debe de anclar con el acero de los castillos en los muros que cuentan con ellos. Además, en cada extremo longitudinal de la losa se marcaron puntos a cada 20 cm de separación, con un margen de 5 cm de los extremos, para en ellos colocar unos tubos de PVC de mayor altura que la losa, esto con el fin de que al colar, sobresalgan y sobren esos huecos dentro de la misma losa. Estos huecos son muy importantes, ya que en ellos se anclará una viga que nos ayudará posteriormente en la etapa de prueba del sismo.

Cimbrado y colado de elementos de refuerzo: El proceso de cimbrado para los primeros 3 muros de tabique de arcilla recocida fue un tanto complicado debido a la mala colocación de los mismos tabiques, es decir, las disparidades, los desniveles y las salientes en las esquinas. Ya con la mayoría de huecos cubiertos, aquellos que aun sobraban se rellenaron con periódico mojado, para así finalmente tener listos los primero tres muros de tabique de arcilla recocida para el colado.

El colado de estos tres primeros muros se hizo con concreto traído de una fábrica, premezclado, el cual, por cuestiones de retraso, llegó en malas condiciones y los agregados ya se estaban separando; sin embargo, se aceptó y se colaron así los castillos y las losas. Todos estos inconvenientes, que generalmente se pueden presentar en una construcción del sector informal, con frecuencia denominadas como de autoconstrucción, evidentemente hacen que la resistencia de los modelos disminuya al momento de hacer la prueba.

Descimbrado: Los días para el descimbrado variaron de muro a muro. El curado ordinario es de 21 días sin retardante y de 10 con él, pero a los 7 días ya se nos había pedido empezar a descimbrar. Tomaron aproximadamente dos semanas para poder descimbrar los primero tres muros de tabique de arcilla. Se pudo constatar que el colado, aun cuando sí se vibró, no fue el mejor; en las partes más bajas de los castillos se veían los agregados separados, además de que no bajó el concreto por completo, quedando algunas oquedades. El color y textura tampoco eran los mejores, lo que habla de una mezcla pobre. Sin embargo, no fue así en los siguientes muros de bloques de concreto. Fue bastante fácil y rápido el descimbrado, las maderas salieron completas e intactas, por lo que se pueden reutilizar. La mezcla del concreto ahora sí llegó

a la parte más baja de los castillos, y se nota que es una mezcla con mayor calidad debido al color y una textura más lisa y uniforme.

## 2. COLABORACIÓN EN LA COLOCACIÓN DEL DISPOSITIVO DE CARGA E INSTRUMENTACIÓN DE MODELOS.

Con los muros listos, se pudo avanzar a la colocación de los dispositivos de carga e instrumentación de modelos. Estos elementos son los que van a simular el sismo sobre los muros de una forma controlada. Este es un proceso más técnico y meticuloso y los pasos se explican a continuación.

### Pintado y cuadriculado de los muros

Para poder llevar a cabo las pruebas, lo primero fue pintar de blanco los muros para posteriormente marcar con plumón endeble un cuadriculado. Este cuadriculado tiene unas medidas de 25x25 cm. El objetivo es contar con unos cuadrantes donde se pueda ver, rápidamente y a simple vista, dónde se van a formar las grietas durante la prueba. Estas se marcan con tres colores de plumón según sea el caso; negro para aquellas grietas producidas antes de la prueba, rojo para fuerzas de empuje y azul para fuerzas de retroceso y se escribe el ciclo que marca el software en la computadora.

Marcar las grietas nos va a ayudar a identificar el patrón de agrietamiento durante las pruebas, anotar el ciclo en el cual se dieron y a medir posteriormente el grosor de estas, ya que conforme se agrega más fuerza se van haciendo más anchas las grietas.

### Colocación de instrumentos de apoyo para la prueba

Este es un proceso complicado, ya que involucra muchos instrumentos y piezas previas a la instrumentación, las cuales se enlistan a continuación:

- Vigas azules de 40 x 40 centímetros
- Travesaños amarillos de claro 1.5 y 3 metros
- Cajón azul de 60x40x80
- Doble trabe amarilla
- Cajón azul de 40x40x120
- Placa grande cuadrada lxl=115.5 cm
- Yugos rojos
- Placa interface MTS-100
- Columnas amarillas
- Placa base, columnas amarillas
- Trabe cajón amarilla
- Placa grande amarilla

Se necesita anclar el modelo tanto a la losa de reacción como al muro de reacción. Para el anclado a la losa de reacción, se colocan unas varillas a través de la viga de cimentación, que atraviese toda la losa de reacción y finalmente, con ayuda de un gato hidráulico, se ajustan los tornillos. Para el anclaje al muro de reacción, primero se coloca una viga sobre la losa del modelo y se ancla en los orificios previamente hechos, para después conectarla al gato hidráulico ya anclado al muro de reacción. De esta forma la fuerza aplicada por el gato hidráulico puede distribuirse equitativamente en todo el modelo. Además, es necesario colocar tres columnas como apoyo; dos en los extremos y una en el medio del muro. Las de los extremos sirven para colocar los instrumentos de medición de desplazamientos. La columna central, además de servir para colocar parte de los instrumentos, funciona para colocar unas vigas pequeñas con dos tornillos largos, los cuales quedan justo a los extremos de la viga anclada a la losa del muro, y permitirá contener el posible movimiento o proceso de inestabilización del muro fuera de su plano durante la prueba.



Figura 2: Colocación de anclaje a losa de reacción y de viga en la losa del muro

#### Colocación de instrumentación externa

La instrumentación externa es la que mide el desplazamiento del muro cuando se hace la prueba. Dentro de la instrumentación se incluyen dispositivos para medir:

- 1) Desplazamiento horizontal
- 2) Rotación en los extremos de los castillos
- 3) Diagonales
- 4) Deformación vertical en castillos

En la figura 3 se muestra un esquema aproximado de la instrumentación general para todos los modelos.

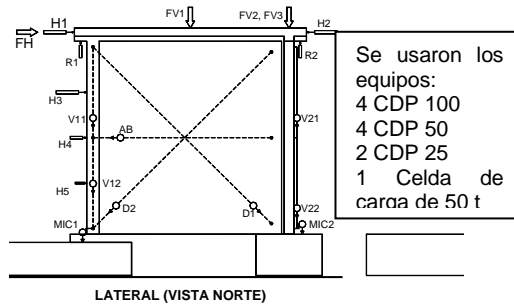


Figura 3: Instrumentación externa

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

Los elementos que se encuentran marcados en la figura 3 con H#, son los transductores. Estos cuentan con un cabezal muy sensible a los movimientos, por lo cual sirven justamente para ir obteniendo la información de desplazamientos de diferentes puntos durante la prueba. El cabezal se apoya directamente sobre una placa de acrílico pegada a diferentes caras del muro. Se usaron tres transductores con diferentes capacidades; el número representa el desplazamiento máximo que mide: 100, 50 y 25 milímetros. Dependiendo la posición a colocarse en el muro, es el transductor a utilizar.

### Colocación del dispositivo de aplicación de cargas

En el proceso de prueba se aplicaron cargas horizontales cíclicas reversibles, simulando el efecto del sismo, mediante un gato hidráulico de doble acción, es decir, se aplica carga horizontal en intervalos de ciclos de empuje y retroceso, subiendo el valor de la fuerza lateral conforme se inicia cada nuevo ciclo. Esta carga se aplicó sobre el eje de la dala superior. En la figura 4 se presenta el marco de carga y la colocación de los dispositivos.

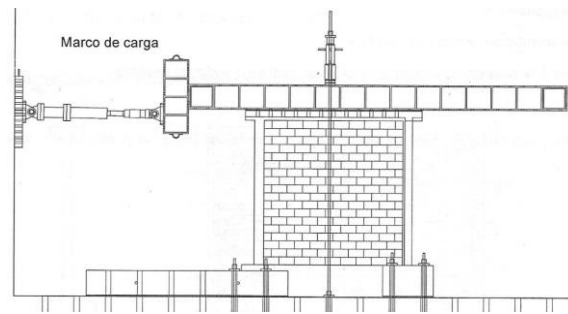


Figura 4: Dispositivo de aplicación de cargas

### 3. COLABORACIÓN EN EL PROCEDIMIENTO DE PRUEBA DE LOS MODELOS.

El proceso de la prueba destructiva de los modelos se llevó a cabo, en su mayoría, coordinada por ingenieros expertos en el tema, debido a que es necesario manipular instrumentos de aplicación de fuerzas, el uso de un software para la recopilación y análisis de la información e ir revisando, a cada término de ciclo, la aparición de nuevas grietas; es en esta última actividad en la que se participó.

Las pruebas variaron entre los diferentes muros. Se hará mención del muro, su procedimiento de prueba y el comportamiento general durante y después del proceso.

#### 1) Modelo MIS1: mampostería de tabique de arcilla recocida artesanal, sin refuerzos.

Este es el modelo menos resistente en cuanto a los de este material, ya que no tiene refuerzos. Se presentaron agrietamientos importantes, sobre todo por cortante. Una vez terminada la prueba se decidió no demoler el modelo, sino repararlo y reforzarlo con malla simple de gallinero y una capa de mortero, para posteriormente volver a hacer la prueba. Fue interesante ver que, en esta segunda ocasión, el muro resistió más fuerza lateral que el modelo original, lo que arroja información importante para aquellas construcciones donde se tienen daños debidos a los sismos y que, de hacer buenas reparaciones, se puede reparar el daño y al mismo tiempo reforzar la estructura.

#### 2) Modelo MIS2: mampostería de tabique de arcilla recocida artesanal, con refuerzo de un castillo al centro de la longitud del muro.

No hubo gran diferencia entre este muro y el anterior. Lo más destacable fue que resistió más carga y el patrón de agrietamiento fue diferente, extendiéndose desde el centro, donde se encontraba el castillo, hacia los extremos. Llegó un momento donde el castillo también sufrió agrietamiento por cortante justo en la parte media. Terminada la prueba, se dio paso a su demolición.



3) Modelo MIS3: mampostería de tabique de arcilla recocida artesanal, con refuerzo de castillos en los extremos del muro.

Durante la prueba se pudo notar que las grietas se fueron formando justo en la parte central del muro, escaseando en los extremos. Fue el muro que más resistencia tuvo, gracias a los dos castillos que sirvieron como confinamiento. Es bien sabido que los muros de mampostería confinada resisten mejor las fuerzas de los sismos. Finalmente, una vez terminada la prueba, se demolió el muro.

4) Modelo MIS4: mampostería de bloque hueco de concreto artesanal, sin refuerzo.

Es importante resaltar que estos muros tuvieron un mejor proceso de construcción, con mayor control del plomo en su altura, mejor calidad de la mezcla tanto en mortero como en concreto y un mejor colado. Las grietas se presentaron en la parte inferior izquierda en su mayoría, siendo grietas por fuerzas cortantes. Este muro aún se encuentra en el laboratorio, ya que será resanado y reestructurado.

El siguiente muro, que es el MIS5, bloque hueco de concreto artesanal con refuerzo de castillos en los extremos del muro, ya se encuentra construido, pero no se ha pasado al procedimiento de prueba. Por otro lado, el último muro, MIS6, con un castillo al centro de la longitud del muro, a la fecha se tiene decidido no construirse.

#### 4. RESÚMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Con el propósito de revisar la certidumbre de las propuestas normativas actuales en relación con las estructuras de edificación para vivienda del sector informal, además de identificar algunas variables que permitan ajustar funciones de vulnerabilidad existentes para edificaciones de mampostería, en las tablas 1.1 y 1.2 se presentan, de manera comparativa, los valores teóricos y experimentales de las rigideces y resistencia laterales, respectivamente. En el caso de la resistencia lateral experimental se considera a la resistencia máxima obtenida durante el desarrollo de la prueba.

Modelo	KmRT (kg/mm) Teórica	KmRE (kg/mm) Experimental	KmRT / KmRE
MIS1	1,800.00	1,432.00	1.27
MIS2	3,000.00	2,871.00	1.04
MIS3	3,800.00	3,577.00	1.06
MIS4	1,900.00	1,620.00	1.17
MIS6	4,000.00	3,000.00	1.33

Tabla 1.1 Comparación de los valores de rigidez lateral teórica y experimental para cada modelo.

Simbología:

KmRT: Rigidez lateral teórica.

KmRE: Rigidez lateral experimental.

Modelo	VmRT (kg/mm)	VmRE (kg/mm)	VmRT / VmRE
	Teórica	Experimental	
MIS1	4,125.00	2,250.00	1.83
MIS2	4,125.00	4,050.00	1.02
MIS3	4,125.00	4,030.00	1.02
MIS4	2,750.00	1,875.00	1.47
MIS6	2,750.00	4,280.00	0.64

Tabla 1.2 Comparación de los valores de resistencia lateral teórica y experimental para cada modelo.

Simbología:

VmRT: Resistencia lateral teórica.

VmRE: Resistencia lateral experimental.

## BENEFICIOS OBTENIDOS Y OPINIÓN.

Ingresé al CENAPRED y decidí hacer el servicio social aquí por dos fuertes razones:

La primera fue la oportunidad de aprender de manera práctica aquello que sólo había podido ver en libros y de manera teórica en los salones de clase de la universidad. Poder conocer, tocar, pesar y maniobrar todos los materiales, mezclas, dispositivos y demás provocó en mí un cambio sobre todo mental, acerca de la perspectiva que tenía sobre la parte constructiva de la arquitectura. Los materiales pesan más de lo que imaginaba, pero a la vez pueden resultar en más resistentes o más frágiles de lo esperado. De igual forma, el proceso de construcción cuando lo ves en las calles, a lo lejos, parece hasta cierto modo, fácil de realizar por los albañiles y maestros, sin embargo, teniendo la experiencia de hacerlo uno mismo, de intentar hacerlo lo mejor posible aun cuando previamente leí manuales de construcción, y ver que los resultados no son los mejores, te hace valorar a todos aquellos que hacen la parte difícil: las mezclas, la transportación de los materiales, su correcta colocación, etc. Hubo un compañero albañil que nos estuvo apoyando y enseñando cómo hacer todos los procesos correctamente. Podría decir que de él fue de quien más aprendí y de quien más provecho saqué de mi experiencia en el CENAPRED.

El segundo motivo por el cual ingresé fue por la importancia que tienen todos los procesos que se explicaron previamente. Todas estas pruebas tienen un objetivo, y es el de revisar, rectificar y mejorar las reglas y normas del Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México. Con los últimos sismos ocurridos en septiembre del año pasado, 2017, fue necesario revisar nuevamente todas las normas y reglamentos, sobre todo las normas complementarias de mampostería en este caso, ya que la gran mayoría de viviendas están construidas con estos materiales. Entonces si con nuestra ayuda en el laboratorio de materiales, tratando de construir los modelos lo mejor posible, podemos ayudar a que se obtengan los mejores resultados para mejorar la forma en que se construye en México, creo que es algo que se debe valorar.

En cuanto a la contribución que tuvo en mi carrera, estoy seguro que este conocimiento práctico me servirá tanto para la parte de diseño y creación de los proyectos, como en la parte de propuesta de estructuras y la parte constructiva de las obras. Me ayudará a tener una noción más clara de los procesos llevados a cabo durante la construcción de obras y todos aquellos detalles que suelen pasarse por alto pero que son igual de importantes para lograr una reducción en costo y tiempo de edificación.

## CONCLUSIONES GENERALES

Los trabajos realizados para llevar a cabo el proyecto de construcción de modelos asimilando la construcción informal, si bien tuvieron algunos cambios, creo poder concluir que hasta el momento se han ejecutado correctamente. Irónicamente, la poca experiencia de los prestadores de servicio social al construir los muros hizo que de una u otra forma, se lograra recrear la forma en que se construye en la vida real, con construcciones sin refuerzos o refuerzos mal logrados, poco conocimiento estructural y procesos mal ejecutados. Los resultados obtenidos son valiosos e importantes y llegado el momento, cuando toda la información se asiente e interprete, debe de funcionar para mejorar las reglas y normas actuales de construcción, aún para aquellas obras informales. El objetivo último es poder contar con edificaciones realmente sismo-resistentes y así minimizar los daños ocasionado tanto a las propiedades como a las personas que las habitan.

## REFERENCIAS

López Bátiz, Oscar et al. "Propuesta técnica para el estudio experimental de muros de mampostería informal sujetos a carga lateral del tipo sismo.", 2017, CENAPRED, CDMX, México.