



UNIVERSIDAD
DON VASCO, A.C.

UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727-15

a la Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela de Ingeniería Civil

PROPUESTA DE CURVAS DE DENSIDAD DE MUROS PARA EL ESTADO DE MICHOACÁN.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

presenta

Jorge Iván Murillo Zarco

Asesor:

M.I. Enrique Omar Navarro Caballero

Uruapan, Michoacán, Septiembre del 2010.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente a Dios y a mis padres, Graciela y Javier primero, por darme la vida y amarme al igual que a mis hermanos, además por todo el apoyo que me brindaron durante mi formación educacional, así como la educación que me dieron a lo largo de mi vida. Muchas gracias por su apoyo económico ya que sin él este proyecto y mi educación no hubieran sido posibles.

También quiero agradecer al personal docente de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco por haber compartido conmigo y mis compañeros sus conocimientos para lograr mi formación académica.

A mis asesores, M. I. Enrique Omar Navarro Caballero y Lic. Juan Luis Moreno, gracias por su apoyo durante la realización de este proyecto, fue una experiencia muy agradable saber que podía contar con su experiencia y apoyo incondicional, incluso en temporada de vacaciones, gracias por su dedicación.

A mi familia más cercana, entre ellos mis hermanos, ya que ellos siempre han sido una motivación para no dejar a un lado este proyecto, a todos ellos muchas gracias.

Al Dr. Roberto Arroyo Matus, que aunque no tengo el placer de conocerlo en persona me apoyó por correo electrónico y me facilitó su trabajo para poder realizar el mío, muchas gracias doctor.

A todos mis amigos que cada que los veo preguntan si ya me he titulado y me animan a que continúe con el proyecto. Gracias por su apoyo.

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo de investigación a mi madre, ya que gracias a ella ha sido posible todo este trabajo, ya que tú siempre estuviste ahí para mí, apoyándome y animándome a no dejar para después esta tesis. Muchas gracias mamá, disculpa si parecía que te ignoraba todas las veces que me preguntabas si ya había terminado mi tesis y que como iba, gracias porque sin tu perseverancia tal vez este proyecto nunca se hubiera terminado.

Además quiero que sepas que este proyecto es solo tuyo, ya que siempre me has dado todo tu apoyo y has hecho hasta lo imposible por salir adelante aún con todas las cargas con las que cuentas.

Espero que ahora que voy a poder titularme llegue a ser la persona que tú siempre has querido para mí y que sepas que mi éxito es gracias a tu esfuerzo y siempre te estaré agradecido por todo lo que has hecho por mí.

Gracias de nuevo y espero haber podido aprender muchas cosas de ti y que cuando tenga mi propia familia sea tan buen padre como tú fuiste buena madre y buen padre para mí. Muchas gracias mamá, te amo.

Índice

INTRODUCCIÓN.

Antecedentes.	1
Planteamiento del problema.	3
Objetivos.	3
Pregunta de investigación.	4
Justificación.	5
Marco de referencia.	7

CAPÍTULO 1.- SISMICIDAD EN EL ESTADO DE MICHOACÁN.

1.1	Origen de los sismos.	10
1.2	Tipos de sismos.	13
1.3	Medición de los sismos.	14
1.4	Ondas sísmicas.	20
1.5	Predicción de los sismos.	25
1.6	Sismicidad en México.	26
1.7	Fuentes sísmicas y sismos relevantes en Michoacán.	30

CAPÍTULO 2.- ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

2.1	Tipos de materiales.	33
2.1.1	Unidades o piezas.	33
2.1.2	Piedras artificiales.	34
2.1.3	Los morteros.	39

2.1.4	Piedras naturales.	42
2.2	Tipos de muros.	44
2.3	Sistemas de piso.	55
2.3.1	Desempeño estructural deseable.	55
2.4	Daños estructurales en estructuras de mampostería.	57
2.4.1	Edificaciones de adobe.	57
2.4.2	Edificaciones de mampostería sin refuerzo.	59
2.4.3	Edificaciones de mampostería confinada.	60
2.4.4	Edificaciones de mampostería con refuerzo interior.	63
2.4.5	Muros diafragma.	64
2.4.6	Edificaciones de mampostería con malla de refuerzo.	65
2.4.7	Comparación entre muros sin refuerzo, confinados y con malla de refuerzo.	71

CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS A BASE DE MUROS DE CARGA DE MAMPOSTERÍA.

3.1	Método simplificado.	80
3.2	Procedimiento de aplicación del método simplificado.	85
3.3	Análisis sísmico de una casa habitación.	89

CAPÍTULO 4.- METODOLOGÍA

4.1	Método empleado.	97
-----	------------------	----

4.2	Enfoque de la investigación.	98
4.2.1	Alcance.	98
4.3	Diseño de la investigación.	99
4.4	Instrumentos de recopilación de datos.	99
4.5	Descripción del proceso de investigación.	100

CAPÍTULO 5.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1.	Curvas de Densidad de Muros.	102
5.2.	Determinación de la curva de densidad de muros.	103
5.3.	Ejemplo de aplicación.	115

CONCLUSIONES	118
---------------------	------------

BIBLIOGRAFÍAS	120
----------------------	------------

Resumen

Propuesta de Curvas de Densidad de Muros para el Estado de Michoacán es una tesis que tiene el propósito de facilitar el método de análisis sísmico simplificado, esto para que quien las utilice tenga una pronta y clara respuesta del análisis sísmico realizado a una vivienda con las características típicas del Estado de Michoacán. Se determina primeramente que en el Estado de Michoacán no existe un proyecto similar, por lo tanto se ve en la necesidad de realizar uno, ya que en la mayoría de los estados con probabilidad de sismos si han realizado estos estudios y se ha visto que su aplicación ha sido muy favorable en la sociedad.

Una vez determinada la necesidad de dichas curvas se realiza un análisis sobre los sismos, satisfaciendo principalmente los tipos, mediciones, ondas que producen, daños que ocasionan y lo que ha ocurrido con ellos a través del tiempo en la República Mexicana, principalmente en el Estado de Michoacán. Además se analizan los materiales utilizados para la mampostería, así como los tipos de muros que existen, y se hace una comparativa de las diferencias entre ellos obteniendo cuales son los de mayor desempeño ante un sismo. Se analiza una vivienda tipo del Estado de Michoacán ejemplificando el método simplificado para conocer su teoría. Se utiliza el método matemático como método de investigación.

Todo esto hace posible la determinación de las Curvas de Densidad de Muros deseadas y con ellas se muestra mediante un ejemplo práctico cómo es posible analizar una vivienda de una manera eficaz, sin costo excesivo, sencilla y en poco tiempo con la ayuda de ellas.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

Los muros de mampostería en una estructura son aquellos que además de servir para dividir los apartados de un edificio o vivienda sirven como parte de la estructura para transmitir la carga a los cimientos de ésta, además, la función más importante de éstos es la de absorber las cargas horizontales que puede presentar la estructura en su vida útil, dichas cargas se presentan más comúnmente en los sismos, ya que en ellos el suelo se mueve horizontalmente por un pequeño periodo de tiempo.

Al existir los muros en una y otra dirección de la construcción presentan una resistencia a la deformación ocasionada por los sismos dando una estabilidad a la estructura capaz de resistir dichas fuerzas.

Es muy probable que la mampostería haya sido inventada por algún hombre primitivo y nómada que ante la necesidad de refugiarse de las inclemencias del tiempo se vio con la necesidad de apilar piedras para protegerse, además si se toma en cuenta que antes no se contaba con la transmisión de conocimientos entre culturas, se debió de haber reinventado muchas veces cada que se presentaba dicha necesidad.

Como consecuencia lógica después de este proceso debieron de haber utilizado una especie de mortero, muy probablemente de barro, lo cual permitió acomodar las piedras con mayor precisión y con una mejor altura.

Con el tiempo fueron apareciendo nuevos materiales con los que construían mejores viviendas y más económicas, tales como el adobe y los ladrillos.

En la actualidad se utilizan varios tipos de estos materiales que se verán más adelante, además existen diversos métodos de análisis sísmico para analizar las estructuras realizadas con dichos materiales.

Lamentablemente no existe una tesis relacionada con dicho tema en la biblioteca de la Universidad don Vasco A. C. de la cual se pudiera tomar referencia o hacer una comparativa con el tema de los sismos aplicados a la mampostería.

Planteamiento del problema.

La necesidad de determinar unas curvas de densidad para muros se ve reflejada en la construcción, ya que para las estructuras a base de muros de cargas se requiere hacer un análisis sísmico que resulta muy tedioso y hace que se incremente el costo de la obra, por lo cual, la mayoría de los clientes no lo realiza y es donde se notan las consecuencias que traen los sismos, en los muros y parte de la estructura como daños menores y hasta las pérdidas humanas en un colapso total de la estructura.

Al contar con dichas curvas para el estado de Michoacán, la gente que desee construir en esta zona se beneficiará ya que no tendrá que hacer el estudio sísmico y su construcción será tan segura como si se hubiese hecho, ya que previamente para hacer estas curvas se tomó en cuenta las consideraciones necesarias para que las estructuras sean seguras y eficientes.

Objetivos.

La presente investigación tiene como propósito dar cumplimiento a los siguientes objetivos.

Objetivo general:

Diseñar y elaborar las curvas de densidad de muros en las distintas zonas del Estado de Michoacán, así como explicar su importancia y su manera de utilizar para que sea correcta su aplicación en las construcciones.

Objetivos particulares:

- Definir qué son los muros de mampostería, así como sus clasificaciones.
- Definir qué son los sismos y sus características en una estructura hecha de muros de mampostería.
- Demostrar y explicar el beneficio de las curvas de densidad de muros que se propondrán.
- Diseñar una guía para la utilización de dichas curvas.

Pregunta de investigación.

En el análisis sísmico de una construcción a base de muros de mampostería es necesario tener presente qué es un muro de mampostería y cómo se comporta ante las cargas laterales y verticales que producen los sismos, así como entender cuáles pueden ser los daños que se pueden presentar en ellos si la construcción no es adecuada.

Teniendo en cuenta estas consideraciones técnicas sobre los muros y sus características, además del comportamiento ante los sismos se puede plantear la pregunta de ¿para qué puede servir las curvas de densidad de muros?, además al contestar dicha interrogante se tendrá presente el ¿por qué es necesario utilizarlas? y los beneficios que éstas traerán a la sociedad en general.

Una vez que se tengan resueltas estas dudas y que se tengan los conocimientos necesarios sobre el tema, se abordará sobre una pregunta que parece ser la más importante de todas, ya que una vez que se cuenten con las curvas, se sepa lo que se puede hacer con ellas y los grandes beneficios que aportarán a la

construcción será necesario e indispensable saber ¿cómo es que se utilizarán dichas curvas para que pueda haber un buen beneficio y un buen aprovechamiento de ellas?

Justificación.

Esta investigación se considera importante porque mediante ella se podrá determinar si una estructura es estable y resistente a los sismos de acuerdo a la cantidad de muros de carga con la que cuenta dicha estructura y a ciertas consideraciones que se harán de acuerdo a la zona en la que están ubicadas y al peso que tiene la misma.

Además es importante considerar que el gasto económico que se ahorrará en el análisis de sismo sobre la estructura es bastante considerable y evitará que la estructura quede vulnerable a un sismo.

De tal manera que una institución como es Obras Públicas podrá contar con dichas curvas para determinar si es viable construir o no un proyecto con solo medir los muros de carga con los que cuenta y sin la necesidad de hacer un análisis sísmico que en la práctica resulta muy tedioso y algo complicado de hacer.

Existen varios beneficiados con la realización de esta investigación, en primer lugar el investigador, ya que ampliará su conocimiento y además tendrá la experiencia de poder determinar cómo se comporta una estructura de este tipo.

Por otro parte la Escuela de Ingeniería Civil se beneficiará ya que las generaciones futuras podrán basarse en ella como consulta para sus dudas referentes al tema.

Pero principalmente beneficiará a toda persona y/o institución que requiera hacer una construcción a base de muros de carga y necesite hacer un análisis sísmico que resultaría más caro y sería igual de eficiente.

Marco de referencia.

El país se divide en zonas sísmicas de acuerdo a los estudios que se han hecho con el tiempo de donde es probable que se produzcan sismos y en qué zona es donde causan más daño, de tal manera que se divide en zona asísmica, zona penisísmica y zona sísmica como se muestra en la figura.

Además, es importante tener en cuenta en donde se encuentran ubicados los volcanes más importantes, ya que con ellos incrementa la posibilidad de que haya un sismo y de mayor intensidad.



Otro factor a considerar es la ubicación de las placas tectónicas así como la ubicación de las fallas geológicas que rodean a nuestro país para poder determinar cuánto daño puede causar un sismo en un área determinada.

Como se puede observar, el estado de Michoacán claramente está dentro de la zona sísmica y eso no es lo más relevante de esta zona, sino que está ubicado cerca de varios volcanes y de fallas geológicas lo que hace que haya más probabilidad de un sismo de mayor intensidad.

Los sismos como ya se sabe son producidos por movimientos de las placas tectónicas de la Tierra, de acuerdo a esto, la intensidad de los sismos y la peligrosidad de las



partes donde puede ocurrir no puede ser la misma, sin embargo, se clasifican en zonas de acuerdo a su peligrosidad, para el estado de Michoacán, su clasificación es como se muestra en el mapa, teniendo entonces una propia subdivisión tal y como se hace para la República Mexicana, resultando entonces zona sísmica B, C y D, con tres tipos de terrenos en cada zona.

CAPÍTULO 1

SISMICIDAD EN EL ESTADO DE MICHOACÁN

Los sismos o los terremotos, son el movimiento de la corteza terrestre como consecuencia de la repentina liberación de la energía que se encuentra estática en el interior de la Tierra. Dicha energía se propaga por la superficie en todas las direcciones formando una serie de ondulaciones llamadas ondas sísmicas.

De aquí pues que la energía que se libera de la Tierra tiene que venir de un punto específico, a éste punto se le llama foco o hipocentro (imagen 1.1), además para que se puedan sentir las vibraciones en la superficie terrestre, el foco tiene que estar situado con un máximo de 700 km hacia el interior de la Tierra.

De la misma manera se tiene un punto en la superficie de la Tierra, el cual es el punto más cercano al foco, a éste punto se le denomina epicentro.

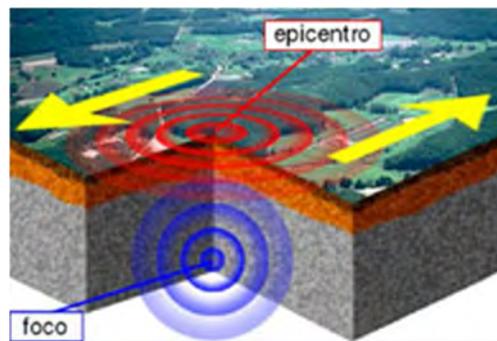


Imagen 1.1. Foco y epicentro.

Fuente: http://www.funvisis.org.ve/glosario_.php

Los terremotos pueden tener vibraciones que pueden oscilar entre las que son casi inapreciables hasta las que llegan a causar grandes daños a las estructuras.

1.1 Origen de los sismos.

Anteriormente la gente creía que los sismos eran causas que permanecían ocultas, ya que estos se originaban dentro de la Tierra y, por lo tanto, no podrían observarse. Además, también se le atribuían a un ser superior como un castigo por faltas humanas.

En la actualidad se pueden explicar los sismos y la mayoría de sus comportamientos mediante la física. De acuerdo a esto, se sabe que se esperarán sismos durante la existencia de la Tierra por el constante acomodo de las placas tectónicas.

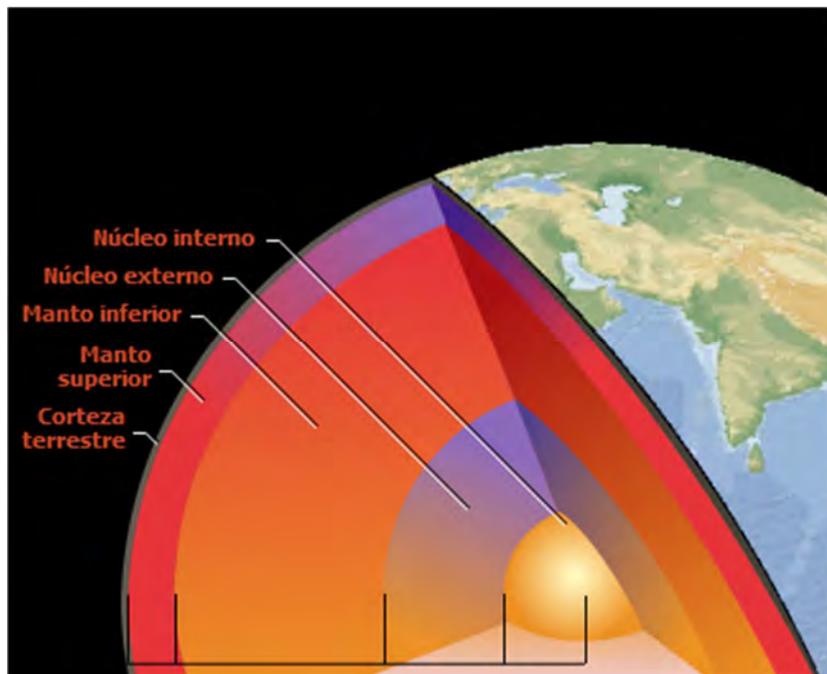


Imagen 1.2. Composición de la Tierra.

Fuente: Microsoft Encarta © & (p) 2009 Microsoft Corporation.

La Tierra está compuesta en su interior por 5 capas, como se muestra en la imagen 1.2, la capa más pequeña llamada corteza terrestre está dividida en toda su superficie, dichas divisiones son denominadas placas tectónicas, de las cuales se ha

determinado que existen al menos veinte de ellas. Las fronteras de estas placas son zonas de mucha actividad tectónica producida por el movimiento de las placas, lo cual produce que se originen sismos y que aparezcan volcanes cerca de los perímetros de las placas tectónicas.

Debido a que la mayoría de los sismos se generan cerca de los bordes de las placas tectónicas, se determina que las montañas, volcanes, dorsales, etc., son producidos por movimientos fuertes durante el proceso de formación de la Tierra llamadas fuerzas globales. Dichas fuerzas globales son producidas por los cambios bruscos de temperatura que sufre la Tierra constantemente.

Existen tres tipos de límites entre las placas tectónicas, los cuales son:

- a) **Divergentes:** son los límites en los cuales las placas se están separando unas de otras, por lo tanto emerge magma entre ellas desde regiones más profundas que al endurecerse por el cambio de temperatura cubre el hueco que estas dejan.
- b) **Convergentes:** son los límites donde las placas chocan entre sí formando una zona de subducción donde la placa oceánica se va por debajo de la placa continental, también pueden producir de este choque un cinturón orogénico que es cuando las placas chocan y se comprimen. Se les conoce también como bordes activos.
- c) **Transformantes:** son los límites donde los bordes de las placas se deslizan una con respecto a la otra, a lo largo de una falla de transformación.

Además existe una cuarta posibilidad en donde por determinadas circunstancias se unen tres o más placas en las que se forman una combinación de los tres tipos de límites.

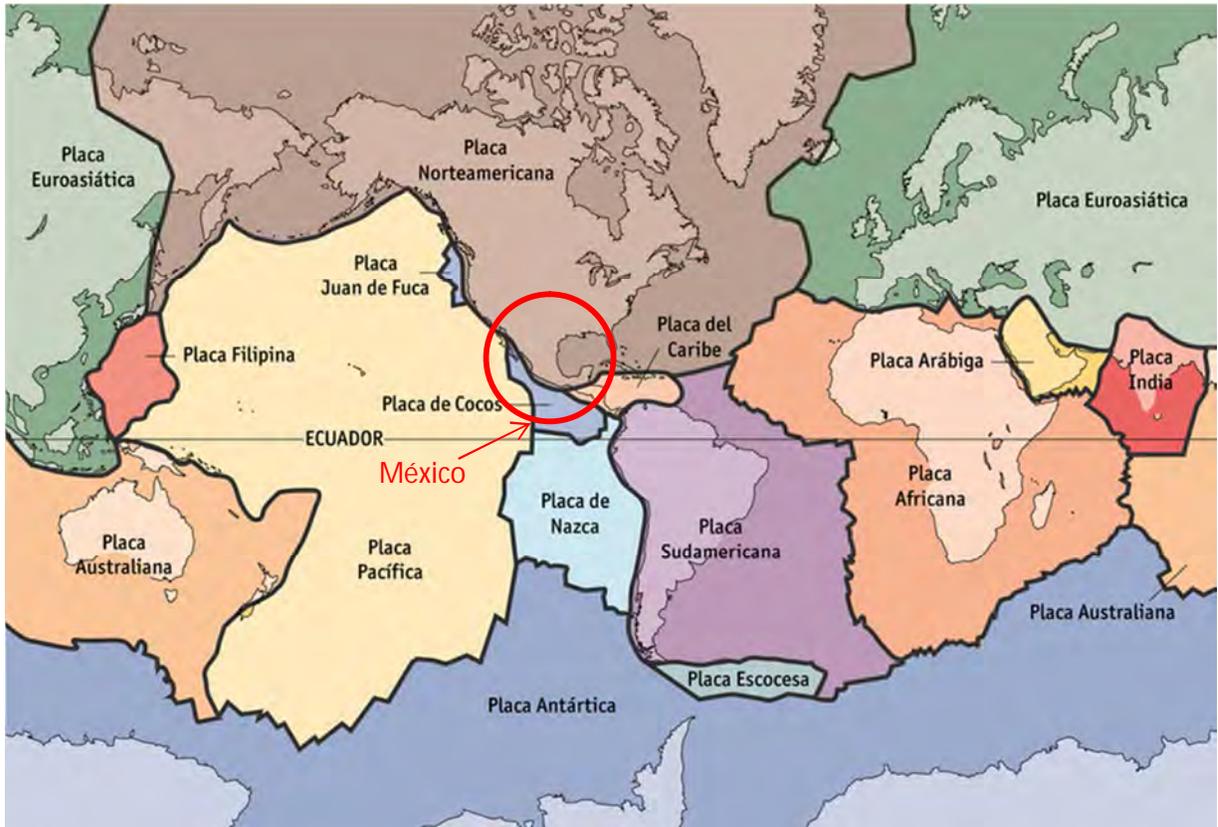


Imagen 1.3. Placas tectónicas.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Placas_tectonicas_mapa.png

En la imagen 1.3 se muestran las principales placas tectónicas con las que cuenta la Tierra, como se puede observar el territorio mexicano queda cerca de la frontera de varias de estas placas.

1.2 Tipos de sismos.

Los terremotos o sismos se pueden clasificar por su modo de generación, dentro de los cuales se tienen: terremotos tectónicos, volcánicos, de colapso y de explosión.

1.2.1 Terremotos tectónicos.

Este tipo de terremotos se producen cuando repentinamente y debido a las fuerzas geológicas de la Tierra se rompen las rocas, lo cual produce un movimiento entre las placas para acomodarse entre sí (Imagen 1.4).



Imagen 1.4. Terremotos tectónicos.

Fuente: <http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/geologiageneral/ggcap01d.htm>

1.2.2 Terremotos volcánicos.

Este tipo de terremotos se genera en conjunto con una actividad volcánica, al haber cambios de temperaturas internas en el volcán hace que las rocas que estén cerca se empiecen a romper, por lo que es muy similar al terremoto tectónico.

Anteriormente se creía que los terremotos estaban ligados a una actividad volcánica, por la similitud que hay entre estos 2 tipos, actualmente se cree que dichas actividades provienen de fuerzas tectónicas en las rocas pero no necesariamente tienen que venir juntas.

1.2.3 Terremotos de colapso.

Este tercer tipo de terremotos son de magnitudes muy pequeñas y ocurren en cavernas o minas, traen como causa inmediata el derrumbe del techo de la caverna o mina. Además dentro de este tipo de terremotos entran derrumbes subterráneos que generan movimientos fuertes cerca de donde ocurre el hundimiento (Imagen 1.5).



Imagen 1.5. Terremotos de colapso.

Fuente: <http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/geologiageneral/ggcap01d.htm>

1.2.4 Terremotos de explosión.

El último tipo es el que es producido por el hombre, se produce cuando se hacen explotar artefactos químicos o nucleares. Una cierta cantidad de dichos explosivos hace que la Tierra vibre por lo que genera un sismo.

1.3 Medición de los sismos.

Ante la problemática de determinar cómo es que se mueve en realidad el suelo durante un sismo se vio en la necesidad de crear aparatos capaces de determinar la agitación del suelo, actualmente existen varios aparatos capaces de hacer esta labor.

1.3.1 Sismógrafos.

Los sismógrafos son aparatos que miden los parámetros de origen de un terremoto, dentro de los cuales están la hora, localización del epicentro, profundidad y magnitud.

Los primeros sismógrafos que funcionaron fueron construidos poco antes del siglo XX y, aunque en la actualidad existen aparatos muy sofisticados, el principio básico que utilizan es el mismo. En la imagen 1.6 se ilustra el principio de un sismógrafo. Se utiliza una masa que está suspendida con un resorte de un marco apoyado en el suelo, con esto se logra que la masa sea independiente del movimiento del marco por un instante, cuando termina de moverse el resorte la masa empieza a moverse por lo cual es necesario que haya un amortiguamiento de este movimiento mediante una lámina sumergida en un líquido (generalmente aceite), en la actualidad se utilizan bobinas o imanes para lograr dicho amortiguamiento. Cuando el marco es movido por las ondas que produce un sismo, la inercia que tiene la masa hace que quede estacionaria con respecto al movimiento que se genera en el marco, de este modo, este movimiento relativo es registrado con tinta en un papel enrollado en un tambor giratorio (en la actualidad se registra fotográficamente o en cinta magnética). Este registro obtenido es conocido como sismograma.

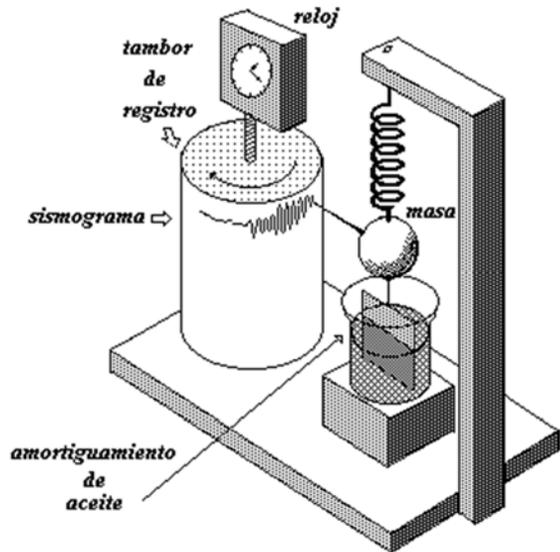


Imagen 1.6. Sismógrafo vertical.
 Fuente: <http://www.ssn.unam.mx/website/jsp/Cuaderno1/ch2.html>

En la imagen 1.7 se muestra cómo se obtienen las mediciones en las tres dimensiones conocidas, ya que el aparato de la imagen 1.6 solo da el movimiento vertical, para obtener los movimientos horizontales se requiere de péndulos que oscilan como una puerta pero con el eje inclinado ligeramente para darle estabilidad.

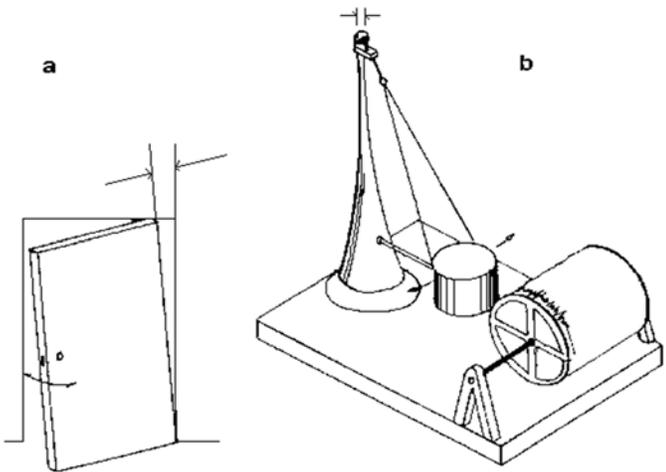


Imagen 1.7. Sismógrafo horizontal.
 Fuente: <http://www.ssn.unam.mx/website/jsp/Cuaderno1/ch2.html>

1.3.2 Acelerógrafos.

Los acelerógrafos son los aparatos encargados de medir las características del movimiento del terreno en donde se encuentra instalado el aparato producidas por un terremoto.

Los acelerógrafos cuentan con tres sensores, dos horizontales y uno vertical, además cuenta con registros digitales, de tal manera que hacen más precisos los datos, registra la hora con un reloj interno en hora UTC.

Se puede registrar las tres componentes de la aceleración en donde está ubicado el aparato tal como se muestra en la imagen 1.8.

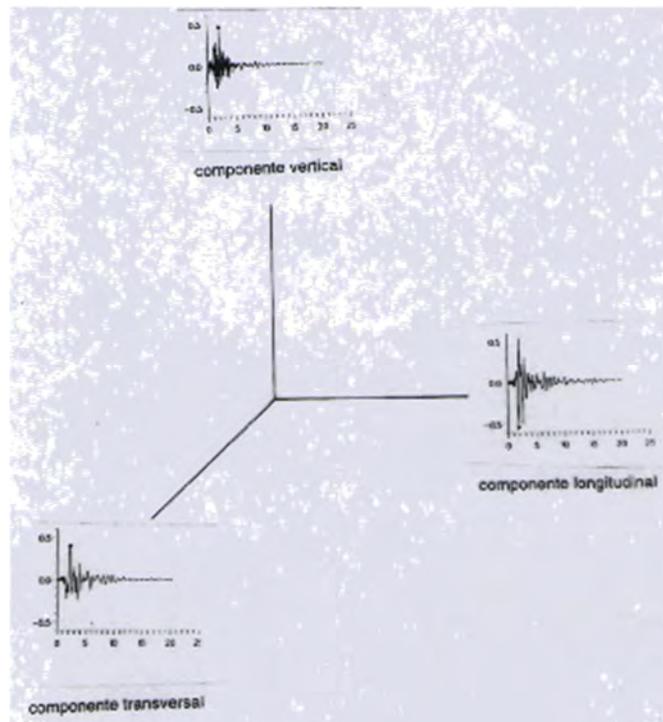


Imagen 1.8. Componentes de aceleración.

Fuente: <http://www.uca.edu.sv/investigacion/terremoto/modulo3/analisisregistros/sld020.htm>.

Actualmente con los avances tecnológicos y sensores de banda ancha no existe diferencia entre un acelerógrafo y un sismógrafo, ya que los aparatos están diseñados para realizar las mismas acciones.

En la imagen 1.9 se muestran 2 tipos de acelerógrafos modernos, como se puede observar todo el mecanismo va por dentro y es digital todo tipo de dato obtenido de ellos.



Imagen 1.9. Acelerógrafos.

Fuente: <http://www.ssn.unam.mx/website/html/SSN/instrumentacion3.html>.

1.3.3 Magnitud e intensidad sísmica.

Existe una gran diferencia entre la magnitud y la intensidad de un sismo, aunque aparentemente puede pensarse que son la misma cosa, pero se debe de tener muy claro que se habla de dos cosas muy distintas.

La intensidad sísmica es la manera en que se siente un sismo en diferentes lugares de la zona afectada. Se puede medir a base de observación de los daños que sufren las estructuras, los objetos, el suelo y con el impacto que sufren las personas. Depende de la distancia al epicentro, los tipos de construcciones, las características del suelo y de la ubicación en el momento de las personas. Se utiliza la Escala de Intensidad Modificada de Mercalli para poder medir la intensidad. La escala tiene 12 grados, en la cual los daños comienzan a partir del grado seis como se muestra en la imagen 1.10.

ESCALA SISMOLÓGICA DE MERCALLI

Grado	Descripción
I. Muy débil	No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de perceptibilidad especialmente favorables.
II. Débil	Se percibe sólo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios.
III. Leve	Se percibe en los interiores de los edificios y casas .
IV. Moderado	Los objetos colgantes oscilan visiblemente. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado. Los automóviles detenidos se mecen.
V. Bastante fuerte	La mayoría de las personas lo percibe aun en el exterior. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y pueden llegar a derramarse. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen. Es posible estimar la dirección principal del movimiento sísmico.
VI. Fuerte	Lo perciben todas las personas. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran los vidrios de las ventanas, la vajilla y los objetos frágiles. Los muebles se desplazan o se vuelcan. Se hace visible el movimiento de los árboles, o bien, se les oye crujir.
VII. Muy fuerte	Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o mal proyectadas. Se dañan los muebles. Caen trozos de mampostería, ladrillos, parapetos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos. Se producen ondas en los lagos .
VIII. Destructivo	Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y aun el derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. Se quiebran las ramas de los árboles. Se producen cambios en las corrientes de agua y en la temperatura de vertientes y pozos.
IX. Ruinoso	Pánico generalizado. Todos los edificios sufren grandes daños. Las casas sin cimentación se desplazan. Se quiebran algunas canalizaciones subterráneas, la tierra se fisura.
X. Desastroso	Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. El agua de canales, ríos y lagos sale proyectada a las riberas.
XI. Muy desastroso	Muy pocas estructuras de albañilería quedan en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las cañerías subterráneas quedan totalmente fuera de servicio.
XII. Catastrófico	El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de roca. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados.

Imagen 1.10. Escala de Intensidad Modificada de Mercalli.

Fuente: http://www.digesa.minsa.gob.pe/desastre/img/escala_mercalli.jpg.

La magnitud sísmica es la energía real liberada en el epicentro de un sismo, es una medida absoluta de la energía liberada del sismo expresada en movimiento o aceleración producidos por las partículas del suelo. Se puede medir mediante aparatos, es decir es un valor objetivo, la escala de su medición es la escala de Richter, cuyos grados representan cantidades progresivamente multiplicadas de energía. Dicha escala no tiene límite superior, los aparatos, sismógrafos o acelerógrafos donde quiera que se encuentren registran el mismo grado de magnitud. Por lo tanto, se puede decir que un terremoto tiene una sola magnitud y puede tener muchas intensidades de acuerdo a que tan cerca se encuentre del epicentro sísmico, ya que la intensidad va decreciendo conforme se va alejando de él. Un sismo con una magnitud mayor o igual a 6.5 en la escala de Richter es

considerado como destructor, aunque también depende de la calidad de las construcciones y del tipo de suelo.

La escala de Richter se muestra en la imagen 1.11 donde se puede apreciar de acuerdo a su grado la equivalencia de energía en TNT, se observa que es una escala exponencial, ya que avanza de manera muy considerable entre cada grado.



ESCALA SISMOLÓGICA DE RICHTER

Magnitud Richter	Equivalencia de la energía TNT	Referencias
-1,5	1 g	Rotura de una roca en una mesa de laboratorio
1,0	170 g	Pequeña explosión en un sitio de construcción
1,5	910 g	Bomba convencional de la II Guerra Mundial
2,0	6 kg	Explosión de un tanque de gas
2,5	29 kg	Bombardeo a la ciudad de Londres
3,0	181 kg	Explosión de una planta de gas
3,5	455 kg	Explosión de una mina
4,0	6 t	Bomba atómica de baja potencia
4,5	32 t	Tornado promedio
5,0	199 t	Terremoto de Albolote, Granada (España), 1956
5,5	500 t	Terremoto de Little Skull Mountain, Nevada (Estados Unidos), 1992
6,0	1.270 t	Terremoto de Double Spring Flat, Nevada (Estados Unidos), 1994
6,5	31.550 t	Terremoto de Northridge, California (Estados Unidos), 1994
7,0	199.000 t	Terremoto de Hyogo-Ken Nanbu, Japón, 1995
7,5	1.000.000 t	Terremoto de Landers, California, 1992, TERREMOTO EN PISCO, ICA, CHINCHA, LIMA Y CAÑETE, AGOSTO 2007
8,0	6.270.000 t	Terremoto de México, México, 1985
8,5	31,55 millones de t	Terremoto de Anchorage, Alaska, 1964
9,2	220 millones de t	Terremoto del Océano Índico de 2004
9,6	260 millones de t	Terremoto de Valdivia, Chile, 1960
10,0	6.300 millones de t	Falla de tipo San Andrés
12,0	1 billón de t	Fractura de la Tierra por el centro Cantidad de energía solar recibida diariamente en la Tierra

Referencias: Hanks TC, Kanamori H (1979). «A moment magnitude scale». *Journal of Geophysical Research* 84 (B5): 2348-2350

Imagen 1.11. Escala de Richter.

Fuente: http://www.digesa.minsa.gob.pe/desastre/img/escala_richter.jpg.

1.4 Ondas sísmicas.

Si se toma una barra de cualquier material elástico por un extremo y se le aplica un golpe en el otro extremo, se puede sentir cómo se propaga la energía

liberada por el impacto hasta llegar a donde se sujetó. Lo que ocurre es que con el impacto cada partícula de la barra se deforma y hace que se deformen las partículas que están cerca a ella y después vuelve a su forma original. Al deformarse, jala y empuja a las partículas siguientes y así sucesivamente, esto hace que la deformación viaje a lo largo de la barra. Es importante apreciar que es la deformación la que viaja y no las partículas o pedazos de la barra, los cuales solo se desplazan un poco de su posición original y luego vuelven a ella.

Una deformación que se desplaza a través de un material elástico es denominada onda elástica, cuando dicho material es la Tierra se le denomina onda sísmica.

Cuando ocurre un temblor, el movimiento producido se presenta en cualquier dirección, si fijamos un sistema de 3 componentes podemos representar el movimiento del suelo.

Así, al pasar las ondas sísmicas el movimiento podrá determinarse mediante la unión de las 3 componentes, para esto, se requieren 3 sismómetros, uno en cada dirección.

Las ondas sísmicas se propagan por el interior de la Tierra o por su superficie. De aquí que se pueden clasificar las ondas en internas y superficiales.

1.4.1 Ondas internas.

Denominas ondas de cuerpo, viajan a través del interior de la Tierra. Poseen poco poder destructivo, son las que causan menor daño. Están divididas en 2 grupos, ondas primarias (P) y ondas secundarias (S).

Ondas P.

Dichas ondas se representan en la imagen 1.12. “Las ondas P (PRIMARIAS o PRIMAE) son ondas longitudinales o compresionales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Estas ondas generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces mayor que las ondas S y pueden viajar a través de cualquier tipo de material. Velocidades típicas son 330m/s en el aire, 1450m/s en el agua y cerca de 5000m/s en el granito”.

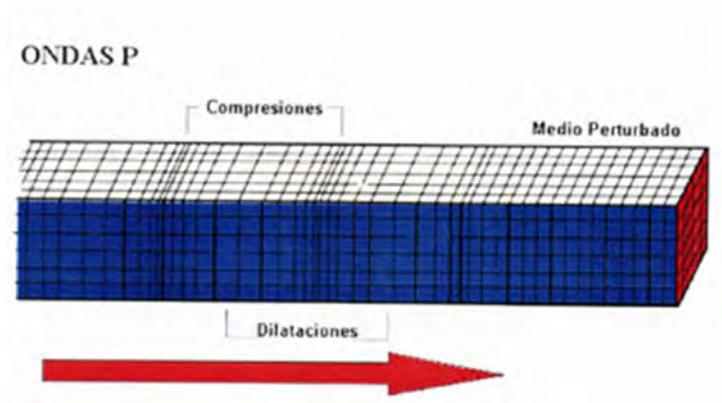


Imagen 1.12. Ondas P.

Fuente: http://www.funvisis.org.ve/imagenes/fotos_varias/ondas_p.jpg

“En un medio isótropo y homogéneo la velocidad de propagación de las ondas

P es:

$$v_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

donde K es el módulo de incompresibilidad, μ es el módulo de corte o rigidez y ρ la densidad del material a través del cual se propaga la onda mecánica. De estos tres parámetros, la densidad es la que presenta menor variación por lo que la velocidad está principalmente determinada por K y μ ” (es.wikipedia.org).

Ondas S.

Las ondas S (SECUNDARIAS o SECUNDAE) son ondas con desplazamiento transversal a la dirección de propagación. Tienen una velocidad un poco menor que la de las ondas P. Por lo tanto éstas aparecen después de las ondas P en el terreno. Generan las oscilaciones durante el movimiento. En la imagen 1.13 se describen este tipo de ondas.

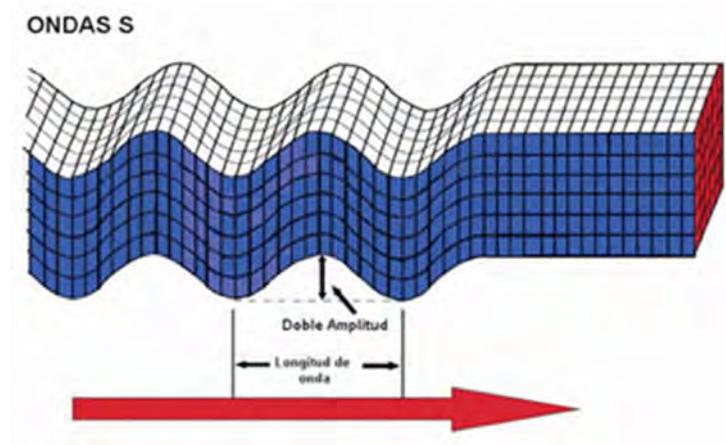
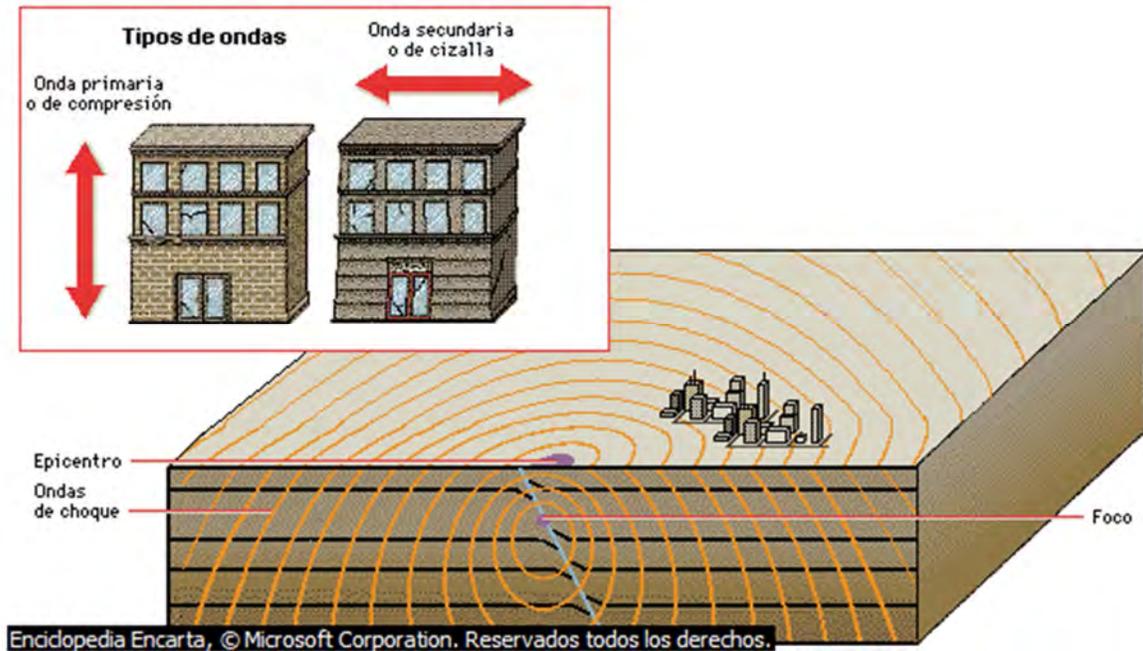


Imagen 1.13. Ondas S.

Fuente: http://www.funvisis.org.ve/imagenes/fotos_varias/ondas_s.jpg

La imagen 1.14 muestra como las ondas P viajan en un sentido longitudinal y las ondas S viajan en sentido transversal a las P, causando así daño en las estructuras que se encuentren cercanas al sismo.



Enciclopedia Encarta, © Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

Imagen 1.14. Terremotos y ondas sísmicas.

Fuentes: Microsoft Encarta y Student Program Manager © & (p) 2007 Microsoft Corporation.

1.4.2 Ondas superficiales.

Cuando las ondas internas llegan a la superficie se generan las ondas L (SUPERFICIE o LONGAE) que se propagan por la superficie terrestre, ya sea (tierra – agua) o bien (agua – tierra). Estas ondas son las que causan los daños a las construcciones en un sismo.

Ondas Love.

Como se puede apreciar en la imagen 1.15 son ondas superficiales que producen un movimiento horizontal de corte en la superficie terrestre. Su nombre es en honor al matemático británico A. E. H. Love por haber desarrollado un modelo matemático en 1911 de las ondas. Su velocidad es un 90% de las ondas S y es un poco superior a la velocidad de las ondas Rayleigh.

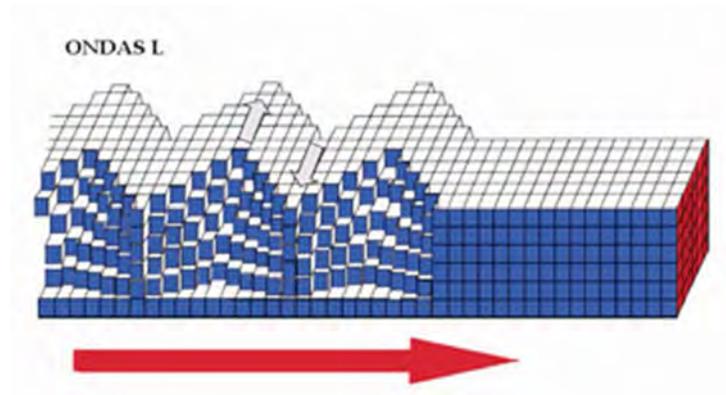


Imagen 1.15. Ondas Love.

Fuente: http://www.funvisis.org.ve/imagenes/fotos_varias/ondas_love.jpg

Ondas Rayleigh.

También denominadas “ground roll”, producen movimiento elíptico retrógrado del suelo. John William Strutt, Lord Rayleigh, en 1885 determinó su existencia. Su velocidad de propagación es de casi un 70 % de las ondas S. En la imagen 1.16 se puede apreciar el movimiento elíptico retrógrado que producen dichas ondas.

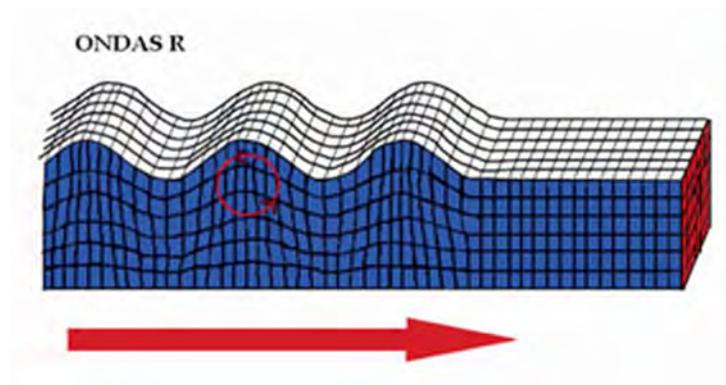


Imagen 1.16. Ondas Rayleigh.

Fuente: http://www.funvisis.org.ve/imagenes/fotos_varias/ondas_rayleigh.jpg

1.5 Predicción de los sismos.

Desde hace siglos se ha intentado predecir los sismos, se han usado métodos que van desde relatos del estado de tiempo típico de un terremoto, observaciones de

la alineación de los planetas hasta comportamientos raros de animales. La mayoría de estos métodos no han dado resultados.

Se puede considerar que la mayoría de los sismólogos del mundo tienen como objetivo poder determinar cuándo ocurrirán los grandes sismos.

Menciona Alejandro Nava en Terremotos que “llamamos predicción sísmica a la especificación (anticipada), dentro de márgenes pequeños, de la magnitud y localización epicentral de un sismo específico que debe ocurrir dentro de un intervalo de tiempo (definido por lo general a partir del presente), y del nivel de confianza de la ocurrencia. La predicción es a largo plazo cuando el intervalo de tiempo va de años a décadas; a mediano plazo, de semanas a años; a corto plazo de horas a semanas.”

Los márgenes de error de una predicción sería son muy pequeños y no se ha logrado llegar a ellos. Una predicción ideal tendría que determinar el tamaño de un sismo con variaciones de ± 0.2 grados de magnitud, de unos cuantos kilómetros para el epicentro y de unas pocas horas para el tiempo.

En fin, se han propuesto muchísimos métodos de acuerdo a los acontecimientos que preceden un sismo, pero esto ha sido en vano, ya que no se ha logrado determinar una predicción confiable.

1.6 Sismicidad en México.

El territorio mexicano se encuentra en una constante actividad sísmica debido a que está ubicado en la frontera de varias placas tectónicas.

Además existen varias fallas a lo largo del oeste del país, lo que genera que se encuentren sismos frecuentemente de todos los tipos existentes.

En la imagen 1.17 del INEGI se muestra un acercamiento al territorio mexicano con las placas que lo rodean, aquí se pueden apreciar las placas que nos rodean y las fallas que existen alrededor del territorio.

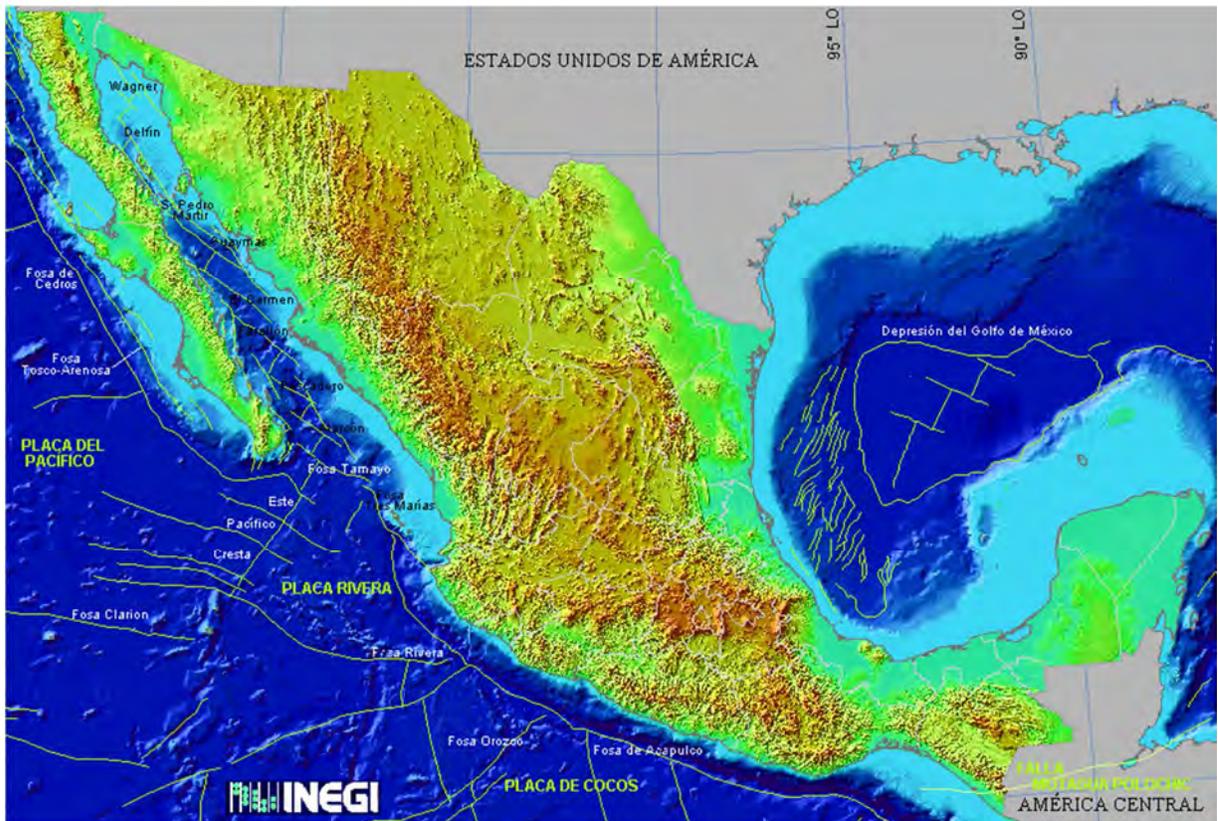


Imagen 1.17. Placas tectónicas cerca de México.

Fuente: <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/datosgeogra/basicos/geologia1...>

Según el INEGI son 5 capas que están circundando y unas cruzando el territorio mexicano, lo cual hace que se encuentre dentro de las zonas de más alta sismicidad en el mundo. Además, aunado a esto se sabe que entre la placa de Norte América y la de Cocos ocurre un fenómeno de choque llamada subducción, en el cual, la placa de Cocos se desliza por debajo de la placa de Norte América.

1.6.1 Tipos de fuentes sísmicas.

En México existe el SSN que es el Servicio Sismológico Nacional, se encuentra en la UNAM y tiene 36 estaciones distribuidas por todo el país para poder detectar de manera más eficiente los sismos producidos, como se muestra en la imagen 1.18.



Imagen 1.18. Estaciones del Servicio Sismológico Nacional.
Fuente: <http://www.ssn.unam.mx/>

De acuerdo a los registros obtenidos durante un periodo de tiempo se pudo determinar 4 zonas sísmicas indicadas por la letra A, B, C y D, siendo la A la de más baja sismicidad y la D de mayor como se muestra en la imagen 1.19.



Imagen 1.20. Zonas sísmicas en la República Mexicana.
 Fuente: www.ssn.unam.mx/.../region_fig1_zonasmx.gif

El Servicio Sismológico Nacional en su página de internet www.ssn.unam.mx menciona acerca de la figura 1.20 que “La República Mexicana se encuentra dividida en cuatro zonas sísmicas. Esto se realizó con fines de diseño antisísmico. Para realizar esta división se utilizaron los catálogos de sismos de la República Mexicana desde inicios de siglo, grandes sismos que aparecen en los registros históricos y los registros de aceleración del suelo de algunos de los grandes temblores ocurridos en este siglo. Estas zonas son un reflejo de que tan frecuentes son los sismos en las diversas regiones y la máxima aceleración del suelo a esperar durante un siglo. La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo

mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores. La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad. Las otras dos zonas (B y C) son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo. Aunque la Ciudad de México se encuentra ubicada en la zona B, debido a las condiciones del subsuelo del valle de México, pueden esperarse altas aceleraciones. El mapa que aparece en la Figura se tomó del Manual de diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) de la Comisión Federal de Electricidad”.

1.7 Fuentes sísmicas y sismos relevantes en Michoacán.

En Michoacán han ocurrido varios sismos desde que se tienen registros, dado que se encuentra ubicado en una zona de clase D y además de que existen una zona volcánica cerca de él que hace que los sismos ocurran con mayor frecuencia y magnitud. Un ejemplo claro de esto fueron los nacimientos de los volcanes Parícutín y Jorullo, los cuales trajeron consigo una serie de temblores significativos que quedaron en la memoria de los habitantes de las localidades.

Otro sismo de gran importancia fue el ocurrido el 19 de septiembre de 1985 en la brecha de Michoacán, el cual trajo consecuencias muy devastadoras para la población, especialmente en el Estado de México y el Distrito Federal.

Actualmente se cuenta con 2 estaciones del SSN instaladas en el estado, ubicadas en Maruata y en Morelia.

En la tabla 1.1 se muestran los sismos más relevantes ocurridos en el Estado de Michoacán, todos ellos con una Magnitud mayor o igual a 7° en la escala de Richter.

Fecha	Coordenada	Magnitud (Ms)
30 / Ene / 73	18.270 Lat. N, 102.880 Long. W	7.50
25 / Oct / 81	17.880 Lat. N, 102.150 Long. W	7.30
19 / Sep / 85	18.081 Lat. N, 102.942 Long. W	8.1
21 / Sep / 85	18.021 Lat. N, 101.479 Long. W	7.5
30 / Abr / 86	18.024 Lat. N, 103.057 Long. W	7.00

Tabla 1.1. Sismos relevantes en el Estado de Michoacán.
Fuente: Servicio Sismológico Nacional

CAPÍTULO 2

ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.

La mampostería es un sistema tradicional que consiste en construir muros, con varios propósitos, a través de la colocación manual de material que puede ser, ladrillos, bloques de cemento prefabricado y piedras, talladas en formas regulares o no. Para unir las piezas se utiliza generalmente un mortero de cemento y arena agregándole agua de la manera más conveniente.

En México más del 90% de las viviendas que se construyen son a base de muros de carga de mampostería. Este tipo de construcciones es muy popular en el país, ya que desde tiempos antiguos se ha utilizado la técnica, por ejemplo las pirámides que se encuentran en la actualidad en buenas condiciones, además de las iglesias que existen alrededor del país con sus muros hechos a base de mampostería.

A pesar de que existen materiales más sofisticados y de mayores resistencias como el acero y el concreto, la mampostería ha demostrado ser un método muy apropiado para contrarrestar los sismos que han sacudido al país durante años. Ya que la mayoría de las estructuras hechas a base de ésta técnica aún siguen en pie y se ha demostrado que las que han fallado ha sido por un claro error en el diseño de las mismas o en la falta a los reglamentos establecidos.

Sin embargo, la mampostería por sí sola no es capaz de contrarrestar todas las fuerzas verticales y horizontales a las que se le somete a toda estructura que debe de resistir los sismos que se producen en el Estado de Michoacán. Para eso se

apoya en el adecuado confinamiento mediante concreto reforzado como se explica más adelante en la sección de muros confinados.

2.1 Tipos de materiales.

Dado que para crear la mampostería se utilizan varios materiales y de diferentes calidades, es muy difícil de llevar un control de calidad, por lo tanto sus propiedades mecánicas son muy variables y más impredecibles que la de otros materiales como el acero y el concreto reforzado.

2.1.1 Unidades o piezas.

Para cualquier clase de mampostería se utilizan piedras naturales, labradas o sin labrar, o bien, piedras artificiales. Por lo tanto, se miden en unidades o piezas. De acuerdo a como se labraron las piedras naturales tenemos en México tres tipos de mampostería.

- a) **Mampostería de primera.** En este tipo las piedras se labran en forma de paralelepípedos regulares con la cara expuesta en forma rectangular. Reciben el nombre de sillares.
- b) **Mampostería de segunda.** En este tipo las piedras se labran en forma de paralelepípedos de forma variable de acuerdo a la forma natural en la que llegan de la cantera.
- c) **Mampostería de tercera.** En este tipo las piedras se utilizan en la forma irregular con que vienen de la cantera, siempre procurando que la cara expuesta sea lo más plana posible.

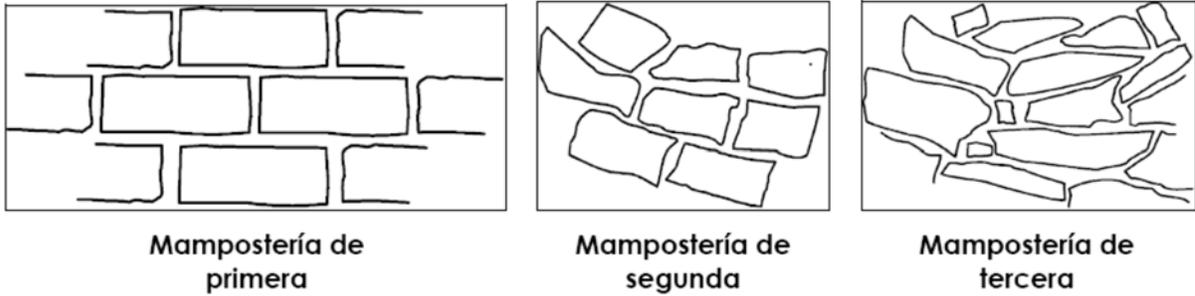


Imagen 2.1. Tipos de mampostería.
Fuente:

Las propiedades de las piedras son muy variables. En la siguiente tabla aparecen las propiedades mecánicas aproximadas de las piedras más usadas en la construcción.

Piedra	Peso volumétrico seco (t/m³)	Resistencia a compresión (kg/cm²)	Resistencia a tensión en flexión (kg/cm²)	Módulo de Elasticidad (kg/cm²)*10³
Areniscas	1.75 – 2.65	150 – 3200	60 – 120	40 – 200
Basaltos (piedra braza)	2.30 – 3.00	800 – 5800	200 – 300	100 – 300
Granito natural	2.40–3.20	800 – 3000	100 – 200	400 – 500
Mármol	2.40–2.85	300 – 3000	35 – 200	900

Tabla 2.1. Propiedades mecánicas de piedras naturales
Fuente: Robles F., González O. y Meli R. (1984)

2.1.2 Piedras artificiales.

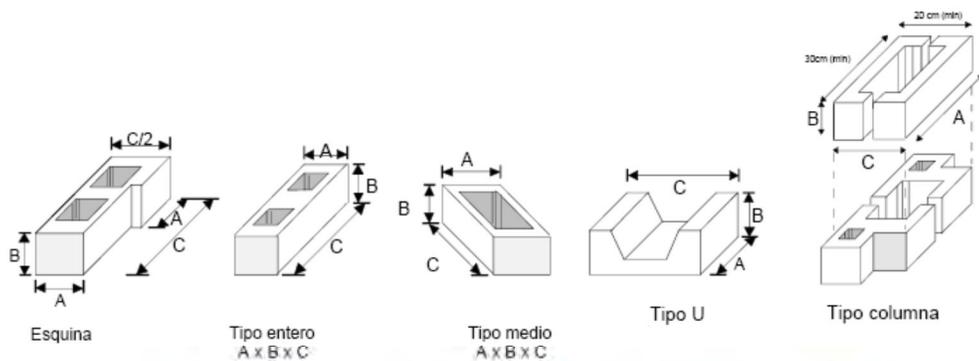
Hay una gran variedad de piezas artificiales para mampostería utilizadas en la construcción. Existen de diferentes formas, de diferentes materias primas utilizadas en su elaboración y de diferentes procesos de fabricación. Entre las materias primas

más utilizadas para la elaboración de las piezas son el barro, el concreto, con agregados normales o ligeros, y la arena con cal.



Imagen 2.2. Piezas en relieve para mampostería.

Fuente: Edificaciones de mampostería para vivienda, Fundación ICA, A. C.



Tipo entero	Tipo medio	Esquina	Tipo U	Tipo columna
A x B x C				
10x20x40	10x20x20		12x20x40	20x20x40
12x20x40	12x20x40	12x20x40	12x20x20	22x20x40
15x20x40	15x20x40	15x20x40	15x20x40	25x20x40
20x20x40	20x20x40		15x20x20	30x20x40
			20x20x40	
			20x20x20	

Imagen 2.3. Dimensiones y tipos de bloque de concreto.

Fuente: Edificaciones de mampostería para vivienda, Fundación ICA, A. C.

Existen formas distintas de fabricación: los artesanales como el cocido en horno para tabiques comunes, los industrializados para bloques de concreto y bloque hueco de barro. En ambos casos la forma es prismática pero con distintas relaciones entre las dimensiones.

En la actualidad, se utilizan también en construcciones de viviendas los materiales siguientes:

- Bloque sílico calcáreo, compuesto de arena sílica y cal hidratada, cocido en autoclaves bajo vapor y presión;
- Bloque de concreto celular (concreto ligero);
- Paneles estructurales (alma de alambre con poliestireno, y recubrimiento de mortero en las dos caras);
- Concreto laminado (tableta de cemento reforzado con fibras sintéticas).

Según la Norma Mexicana NMX-C-404 y con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM), las piezas para uso estructural pueden ser macizas o huecas. Las piezas macizas son aquellas que tienen un área neta igual o mayor al 75% de su área total en la sección transversal más desfavorable. Las piezas huecas para la norma NMX-C-404 son aquellas que posean huecos verticales u horizontales y con un área neta no menor al 40% de su área total. Sin embargo para las NTCM las piezas huecas son aquellas que contienen huecos verticales solamente, además deberán tener un 50% de la relación entre su área neta y su área total. Las piezas que no entren

dentro de estas especificaciones sólo se podrán utilizar para otros aspectos que no sean de tipo estructural.

La resistencia de estas piezas se obtiene mediante el ensaye de una sola pieza. En la tabla se muestran las características típicas de algunas piedras artificiales. Aunque estas medidas se obtuvieron en la década de los 70 en la actualidad se encuentra para algunas piezas valores similares o mayores de coeficientes de variación.

Material	Resistencia a compresión f_p (kg/cm ²)	Coefficiente de variación, cv	Peso volumétrico (t/m ³)	
Tabique rojo de barro recocido	35 – 115	10 – 30	1.30 – 1.50	
Tabique extruido perforado verticalmente	150 – 430	11 – 25	1.65 – 1.96	
	310 - 570	15 - 20	1.61 - 2.06	
	150 – 400	11 - 26	1.66 - 2.20	
Tabique extruido macizo	375 – 900	5 – 16	1.73 – 2.05	
Tabique extruido, huecos horizontales	75 - 80	13 - 18	1.25 - 1.32	
	50 – 80	16 – 30	1.69 – 1.78	
Bloques de concreto				
	Ligero	20 – 50	10 – 26	0.95 – 1.21
	Intermedio	20 – 80	7 – 29	1.32 – 1.70
Pesado	70 – 145	7 – 28	1.79 – 2.15	
Tabicón	45 – 120	11 – 35	1.05 – 1.6	
Silicio Calcáreo	175 – 200	11 – 15	1.79	

Tabla 2.2. Características típicas de algunas piedras artificiales
Fuente: Robles F., González O. y Meli R. (1984)

En la tabla no se mencionan dos materiales que son de gran importancia, son el adobe y el tabique de suelo – cemento. El adobe es un material muy utilizado en el medio rural, es un tabique de barro sin cocer, mezclado con fibras de distintos tipos (estiércol, paja, hojas, etc.) y secado al aire libre. Tiene una resistencia a la compresión alrededor de 15 kg/cm². El Tabique suelo – cemento es de interés por su

bajo costo. Su fabricación consta de mezclar suelos de ciertas características con cemento portland.

Según la NMX-C-404, las piedras artificiales que se utilizan con fines estructurales se clasifican en tabiques, bloques y tabicones, y deben tener las siguientes características:

Tabique: "...fabricado de forma prismática con arcillas comprimidas o extruídas, mediante un proceso de cocción o de otros materiales con procesos diferentes. Las dimensiones nominales mínimas deben ser 5 cm de alto, 10 cm de ancho y 19 cm de largo sin incluir la junta de albañilería".

Bloque: "...fabricado por moldeo del concreto y/o de otros materiales, puede ser macizo o hueco. Las dimensiones nominales de las piezas deben basarse en el módulo de 10 cm en múltiplos o submúltiplos, estando incluida la junta de albañilería de 1 cm de espesor. Sus dimensiones mínimas deben ser de 10 cm de altura, 10 cm de ancho y 30 cm de largo. Las dimensiones de la pared deben ser de 2.5 cm como mínimo".

Tabicón: "...fabricado de concreto u otros materiales. Las dimensiones nominales mínimas deben ser de 6 cm de alto, 10 cm de ancho y 24 cm de largo. Se incluye la junta de albañilería".

Además de lo mencionado, se indica que en localidades que cuentan con reglamento de construcción posterior al sismo de 1985, y que contenga disposiciones de diseño sismorresistente para estructuras de mampostería, regirán las especificaciones del reglamento de la localidad referentes a los requisitos de

dimensiones nominales mínimas, áreas netas mínimas y espesores mínimos de paredes de piezas macizas y huecas.

2.1.3 Los morteros.

A las mezclas plásticas aglomerantes que resultan de la combinación de arena y agua con un material cementante como la cal, el cemento o la combinación de los dos se les denominan morteros.

Las principales características son: resistencia a compresión y tensión, adherencia con la piedra, módulo de elasticidad, trabajabilidad, rapidez de fraguado e impermeabilidad. Adicionalmente tiene una alta capacidad de retención de agua, lo cual ayuda a evitar que la pieza absorba el agua que el mortero necesita para fraguar.

Las propiedades mecánicas de los morteros dependen de la relación arena/cementante y pueden ser muy variables. Los que son a base de cal suelen ser de baja resistencia a compresión, del orden de 1 a 10 kg/cm², debido a esto, en las NTCM se descarta que la cal pueda ser el único cementante en el mortero para uso estructural. Según dichas normas cualquier mortero debe contener cemento hidráulico (con al menos la porción indicada en la tabla 2.3). Las mezclas obtenidas son muy trabajables, de fraguado lento y con buena retención de agua.

Los morteros a base de cemento son de mucha más altas resistencias a compresión comparadas con los que son a base de cal, oscilan entre 40 y 200 kg/cm². Su módulo de elasticidad varía entre 10 000 y 50 000 kg/cm² y el peso volumétrico es de aproximadamente 2 t/m³.

Los morteros a base de cemento son de fraguado rápido, entre 40 y 60 minutos. Son menos trabajables y retienen menos agua que los que son a base de cal.

A los morteros con más de un material cementante se les denomina mixtos, en la práctica suelen utilizarse los que contienen cemento y cal ya que utilizan características de cada material.

Cuando se requiere un mortero para fines estructurales se recomienda que la relación arena – cementante este entre 2.25 y 3, ya que así se garantiza una buena resistencia, buena adherencia y baja contracción.

En las NTCM se mencionan las siguientes recomendaciones para el mezclado del mortero:

“El mortero se elaborará con la cantidad de agua mínima necesaria para obtener una pasta manejable”. “Los materiales se mezclarán en un recipiente no absorbente, prefiriéndose un mezclado mecánico. El tiempo de mezclado, una vez que el agua se agrega, no debe ser menor de 4 min., ni del necesario para alcanzar 120 revoluciones. La consistencia del mortero se ajustará tratando de que alcance la mínima fluidez compatible con una fácil colocación”.

“Remezclado. Si el mortero empieza a endurecerse, podrá remezclarse hasta que vuelva a tomar la consistencia deseada agregándole un poco de agua si es necesario. Sólo se aceptará un remezclado”. “Los morteros a base de cemento portland ordinario deberán usarse dentro del lapso de 2.5 h a partir del mezclado inicial”.

Los proporcionamientos recomendados del mortero para su empleo en elementos estructurales así como las resistencias mínimas que se esperan se muestran en la tabla 2.3.

Tipo de mortero	Partes de cemento	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal	Partes de arena*	Valor típico de la resistencia nominal en compresión, kg/cm ²
I	1 1	0 0 a ½	0 a 1/4 0	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen	125
II	1 1	0 1/2 a 1	1/4 a 1/2 0		75
III	1	0	1/2 a 1 1/4		40

* El volumen de arena se medirá en estado suelto

Tabla 2.3. Proporcionamientos recomendados para mortero en elementos estructurales
Fuente: Edificaciones de mampostería para vivienda, Fundación ICA, A. C.

La adherencia entre el mortero y las piezas de mampostería es de naturaleza mecánica. La mampostería succiona la lechada que contiene el mortero a penas se ponen en contacto, lo cual provoca que no haya adherencia entre los elementos. En la imagen 2.4 se muestra dicho proceso, nótese que la pieza inferior absorbe mayor cantidad de lechada que la pieza superior. Para minimizar dicho efecto e incrementar la adherencia se utiliza uno o más de los procedimientos siguientes:

- a) Añadir juntas más gruesas de mortero, de manera que la succión provocada por la pieza de abajo no afecte a la de arriba. El inconveniente con este proceso es que se disminuirá la resistencia a compresión de la mampostería.
- b) Se puede reducir la succión de las piezas, para lograr esto se debe de humedecer la unidad antes de la colocación, esto implica que se incorporará un factor más de variabilidad difícilmente controlable.

c) O bien, se puede aumentar la cantidad de agua en el mortero ya que esta será absorbida por la pieza de mampostería.

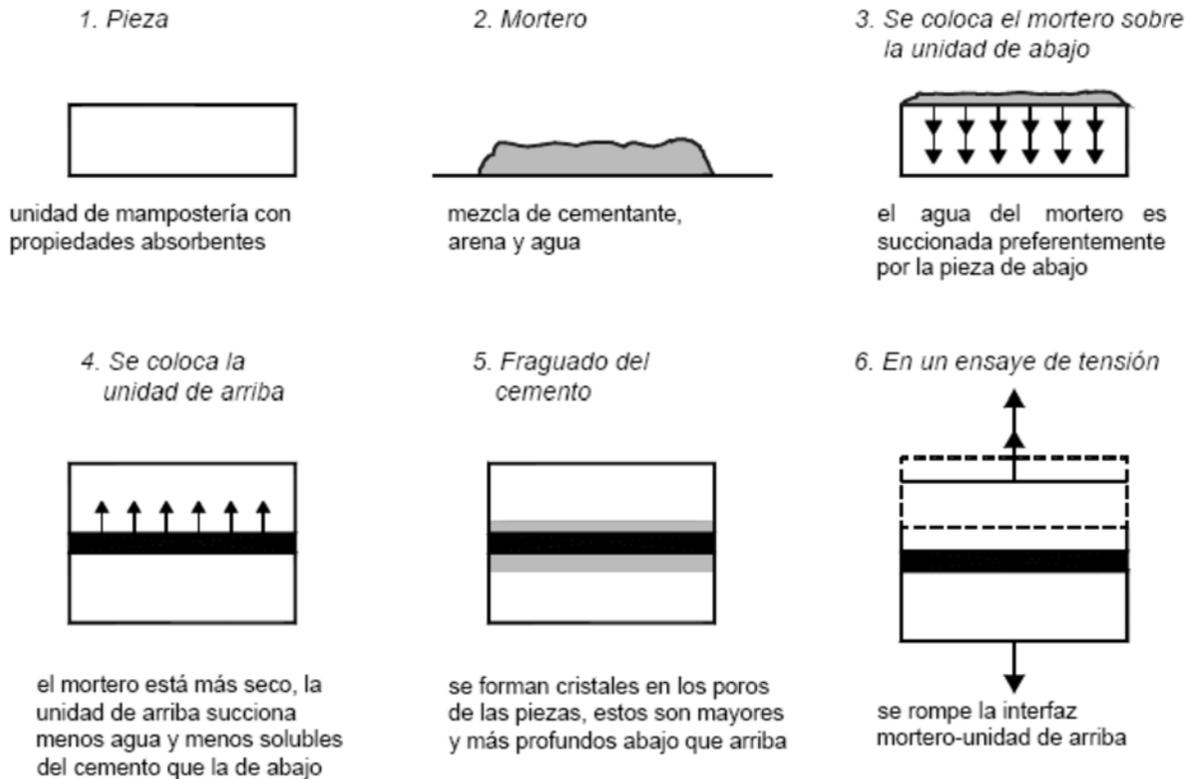


Imagen 2.4. Mecánica de la adherencia entre piezas y mortero.
Fuente: Gallegos H., 1989

2.1.4 Piedras Naturales.

Existen pruebas efectuadas a compresión en las piedras naturales, se realizan en cubos de aproximadamente 40 cm de lado, se han obtenido resistencias del orden de 200 kg/cm² para la sillería y de 120 kg/cm² para mampostería ordinaria. Al obtener dichos valores se observó que son muy inferiores a la resistencia de la piedra sola (tabla 2.1) y mayores que la resistencia del mortero.

Al parecer la resistencia se ve afectada por la calidad del mortero, el tamaño de las piedras y el espesor de las juntas. En la tabla 2.4 se muestran valores conservadores de la resistencia a compresión de las piedras naturales (mampostería de tercera), los valores incluyen el factor de reducción F_R .

Tipo de mortero	$F_R f_m^*$ (kg/cm ²)	$F_R v_m^*$ (kg/cm ²)
Mampostería unida con mortero de resistencia en compresión mayor o igual a 50 kg/cm ² .	20	0.6
Mampostería unida con mortero de resistencia a compresión menor que 50 kg/cm ² .	15	0.4

Tabla 2.4. Resistencia en compresión de la mampostería de piedras naturales.

Fuente: NTCM - 2004

Se establecen además los siguientes requisitos:

- a) Su resistencia mínima a compresión en dirección normal a los planos de formación sea de 150 kg/cm²;
- b) Su resistencia mínima a compresión en dirección paralela a los planos de formación sea de 100 kg/cm²;
- c) La absorción máxima sea de 4%; y
- d) Su resistencia al intemperismo, medida como la máxima pérdida de peso después de cinco ciclos en solución saturada de sulfato de sodio, sea de 10%.

En este tipo de mampostería las piedras no se labran, además se deben evitar piedras redondeadas. Adicionalmente el 70% del volumen de la pieza de mampostería deberá contener piedras que deben de pesar por lo menos 30 kg cada una.

Los morteros empleados en mampostería de piedras naturales según las NTCM deben de ser al menos del tipo III (tabla 2.3).

2.2 Tipos de muros.

Con el paso del tiempo se han creado materiales y sistemas constructivos para las viviendas que garantizan mayores comodidades, mejor apariencia, durabilidad y mejores costos. Lo cual lleva a analizar los muros de mampostería en sus diferentes formas.

Muros diafragma.

Son muros que se encuentran entre un marco hecho a base de columnas y trabes. Proporciona rigidez al marco al momento en que aparecen cargas laterales, existen de mampostería confinada, reforzada interiormente, no reforzada, ó de piedras naturales, además deben de tener un espesor mayor o igual a 10 cm.

Al unir un muro con un marco se debe garantizar que el elemento sea estable ante la acción de fuerzas perpendiculares al plano del muro. No obstante, el muro no garantiza la estabilidad total, por lo que las columnas deben de resistir, cada una, en una longitud igual a una cuarta parte de su altura libre, una fuerza cortante igual ó mayor a la mitad de la carga que está actuando lateralmente sobre el tablero, tal y como se muestra en la imagen 2.5

Se puede colocar el muro de mampostería usándolo como cimbra parcial de las trabes y columnas, o bien colocarlos después adicionando dalas y castillos de empaque o morteros con aditivo expansivo en la mezcla en vez de la última hilada.

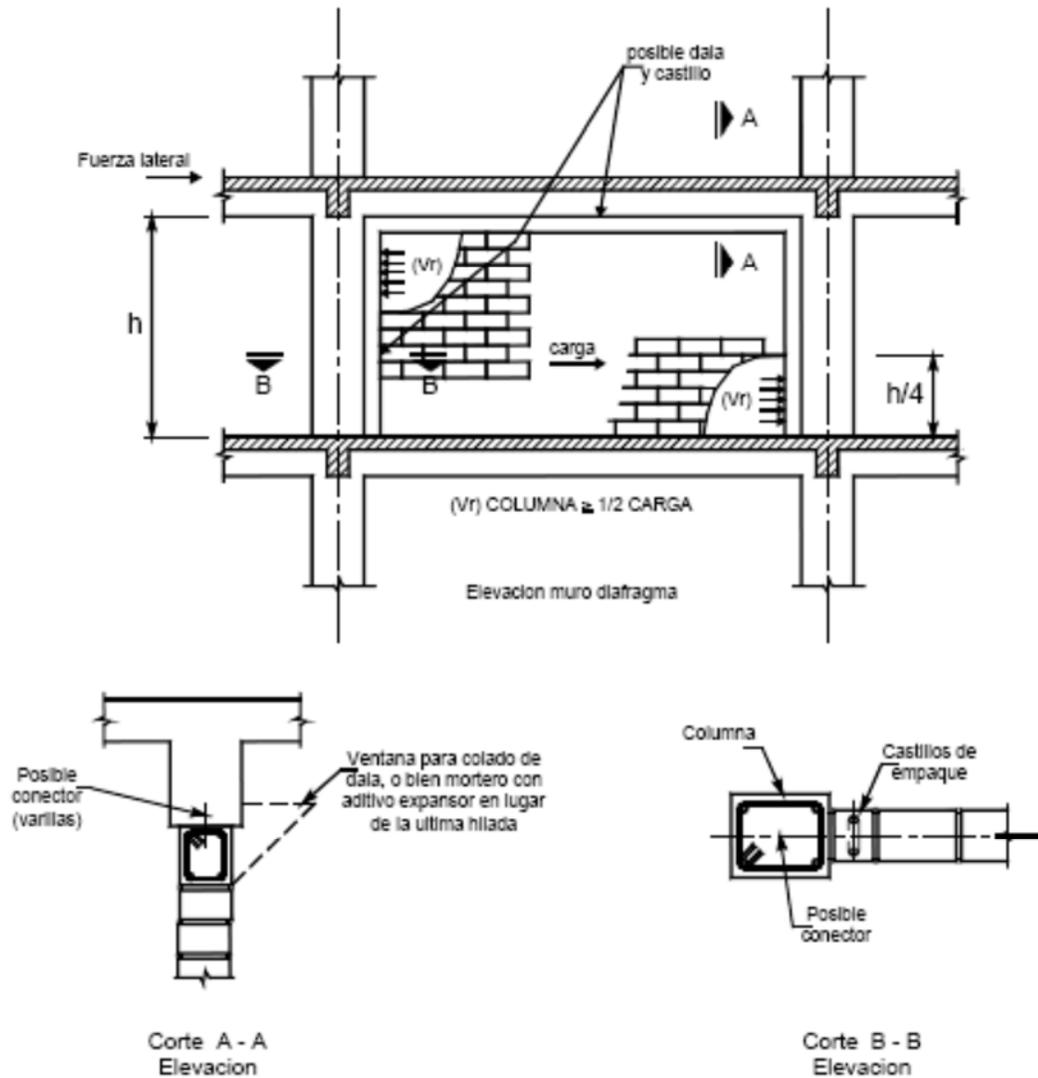


Imagen 2.5. Detalles en planta y elevación de un muro diafragma.
 Fuente: Edificaciones de mampostería para vivienda, Fundación ICA, A. C.

Muros confinados.

Estos muros tienen refuerzo mediante dalas y castillos, son como se muestran en las imágenes 2.6a y 2.6b. Están basados en los requisitos geométricos y de refuerzo que marca la sección 5.1.1 a 5.1.4 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Mampostería (NTCM).

Según la NTCM deberán existir elementos de refuerzo (dalas y castillos), en el perímetro de todo hueco, cuando las dimensiones de éste sean mayores que la cuarta parte de la dimensión del muro en la misma dirección.

Los requisitos indicados en las NTCM para muros confinados comprenden el capítulo 5 de dicha sección, el cuál dice:

Alcance.

Es la que está reforzada con castillos y dalas. Para ser considerados como confinados, los muros deben cumplir con los siguientes requisitos (imágenes 2.6 a y 2.6 b).

Castillos y dalas exteriores

- a) Existirán castillos por lo menos en los extremos de los muros e intersecciones con otros muros, y en puntos intermedios del muro a una separación no mayor que $1.5H$ ni 4 m. Los pretilos o parapetos deberán tener castillos con una separación no mayor que 4 m.
- b) Existirá una dala en todo extremo horizontal de muro, a menos que este último esté ligado a un elemento de concreto reforzado con un peralte mínimo de 100 mm (imagen 2.6 b). Aun en este caso, se deberá colocar refuerzo longitudinal y transversal como lo establecen los incisos e y g. Además, existirán dalas en el interior del muro a una separación no mayor de 3 m y en la parte superior de pretilos o parapetos cuya altura sea superior a 500 mm.
- c) Los castillos y dalas tendrán como dimensión mínima el espesor de la mampostería del muro, t .

- d) El concreto de castillos y dalas tendrá un resistencia a compresión, f'_c , no menor de 15 MPa (150 kg/cm²).
- e) El refuerzo longitudinal del castillo y la dala deberá dimensionarse para resistir las componentes vertical y horizontal correspondientes del puntal de compresión que se desarrolla en la mampostería para resistir las cargas laterales y verticales. En cualquier caso, estará formado por lo menos de tres barras, cuya área total sea al menos igual a la obtenida con la ecuación

$$A_s = 0.2 \frac{f'_c}{f_y} t^2$$

donde A_s es el área total de acero de refuerzo longitudinal colocada en el castillo o en la dala.

- f) El refuerzo longitudinal del castillo y la dala estará anclado en los elementos que limitan al muro de manera que pueda alcanzar su esfuerzo de fluencia.
- g) Los castillos y dalas estarán reforzados transversalmente por estribos cerrados y con un área, A_{sc} , al menos igual a la calculada con la ecuación

$$A_{sc} = \frac{10000s}{f_y h_c}; \text{ si se usan MPa y mm}$$

$$A_{sc} = \frac{1000s}{f_y h_c}; \text{ si se usan } \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ y cm}$$

donde h_c es la dimensión del castillo o dala en el plano del muro. La separación de los estribos, s , no excederá de 1.5 t ni de 200 mm.

- h) Cuando la resistencia de diseño a compresión diagonal de la mampostería, v_m^* , sea superior a 0.6 MPa (6 kg/cm²), se suministrará refuerzo transversal, con área igual a la calculada con la ecuación del inciso anterior y con una

separación no mayor que una hilada dentro de una longitud H_o en cada extremo de los castillos. H_o se tomará como el mayor de $H/6$, $2h_c$ y 400 mm.

En esta modalidad los castillos o porciones de ellos se cuelan una vez construido el muro o la parte de él que corresponda.

Para diseño por sismo, se usará $Q= 2$ cuando las piezas sean macizas; se usará también cuando se usen piezas multiperforadas con refuerzo horizontal con al menos la cuantía mínima y los muros estén confinados con castillos exteriores. Se usará $Q= 1.5$ para cualquier otro caso.

Muros con castillos interiores

Se acepta considerar a los muros como confinados si los castillos interiores y las dalas cumplen con todos los incisos anteriores con excepción de c. Se aceptará usar concreto de relleno con resistencia a compresión no menor de 12.5 MPa (125 kg/cm²). Se deberán colocar estribos o grapas en los extremos de los castillos como se indica en el inciso h, independientemente del valor de v_m^* . Para diseño por sismo, el factor de comportamiento sísmico Q , será igual a 1.5, indistintamente de la cuantía de refuerzo horizontal o de malla de alambre soldado.

Muros con aberturas

Existirán elementos de refuerzo con las mismas características que las dalas y castillos en el perímetro de toda abertura cuyas dimensiones horizontal o vertical excedan de la cuarta parte de la longitud del muro o separación entre castillos, o de 600 mm (imagen 2.6 b). También se colocarán elementos verticales y horizontales de

refuerzo en aberturas con altura igual a la del muro (imagen 2.6 a). En muros con castillos interiores, se aceptará sustituir a la dala de la parte inferior de una abertura por acero de refuerzo horizontal anclado en los castillos que confinan a la abertura. El refuerzo consistirá de barras capaces de alcanzar en conjunto una tensión a la fluencia de 29 kN (2 980 kg).

Espesor y relación altura a espesor de los muros.

El espesor de la mampostería de los muros, t , no será menor que 100 mm y la relación altura libre a espesor de la mampostería del muro, H / t , no excederá de 30.

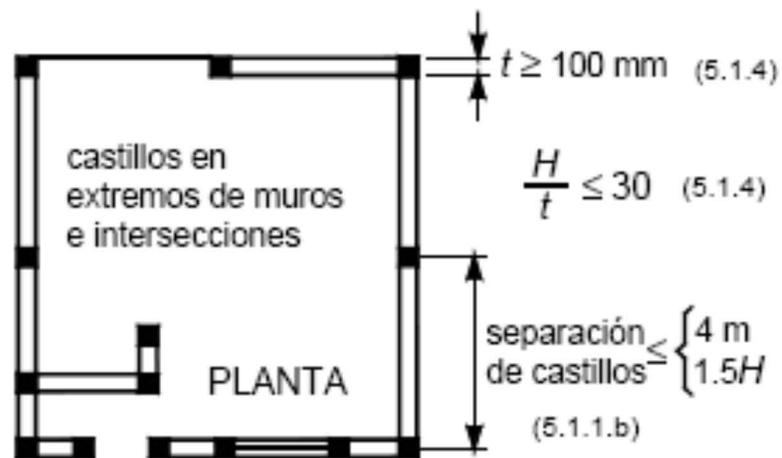
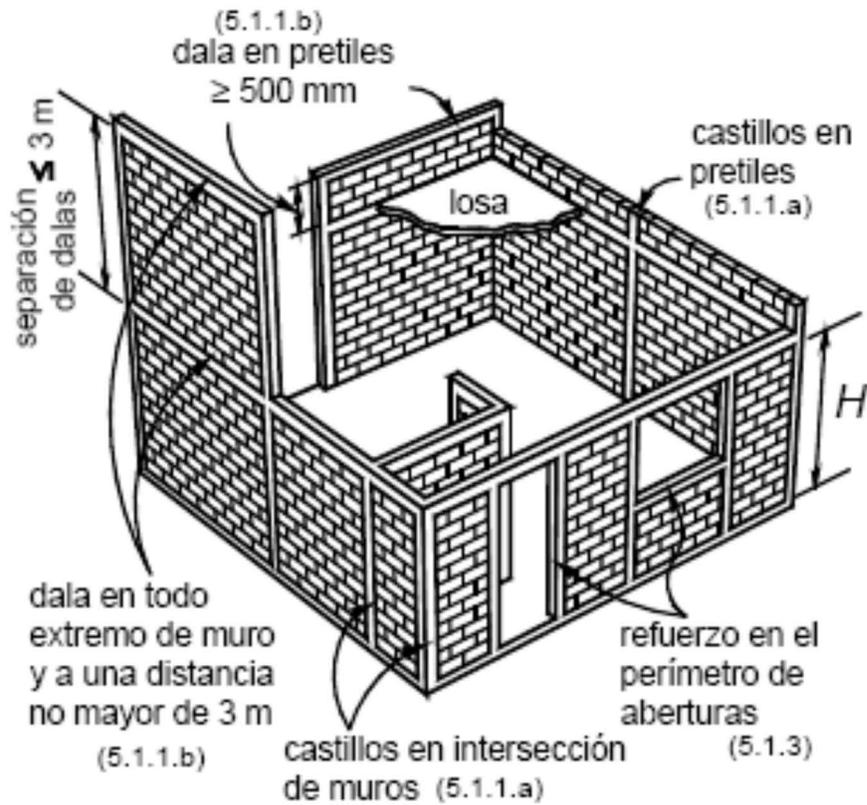
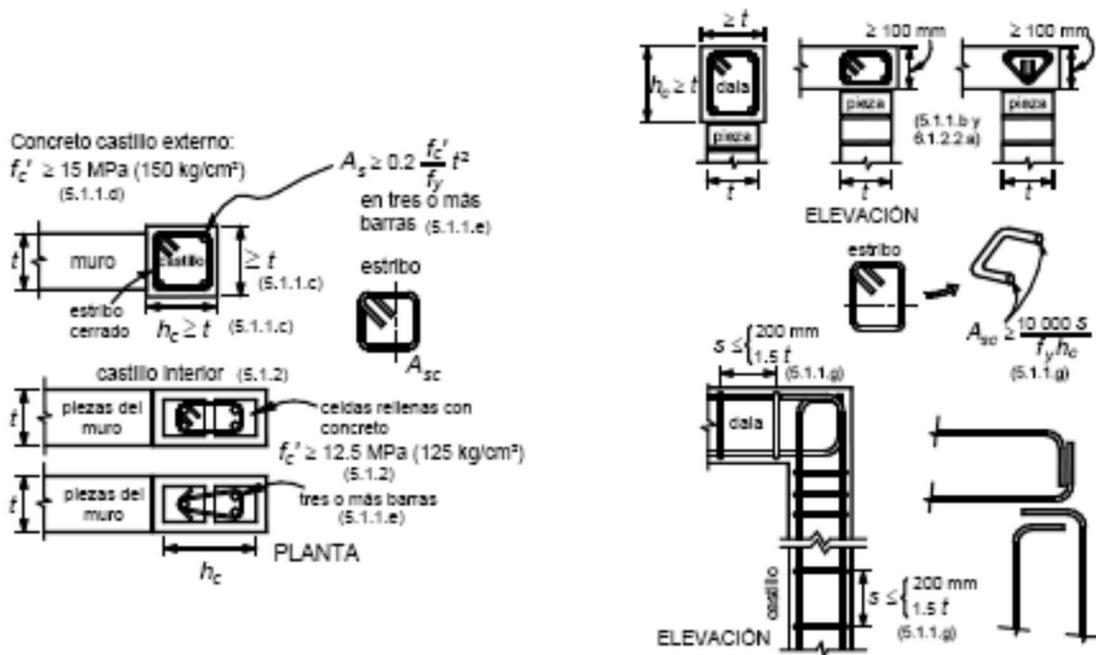


Imagen 2.6. a) Requisitos para mampostería confinada.
Fuente: NTCM - 2004.



Castillos y dalas

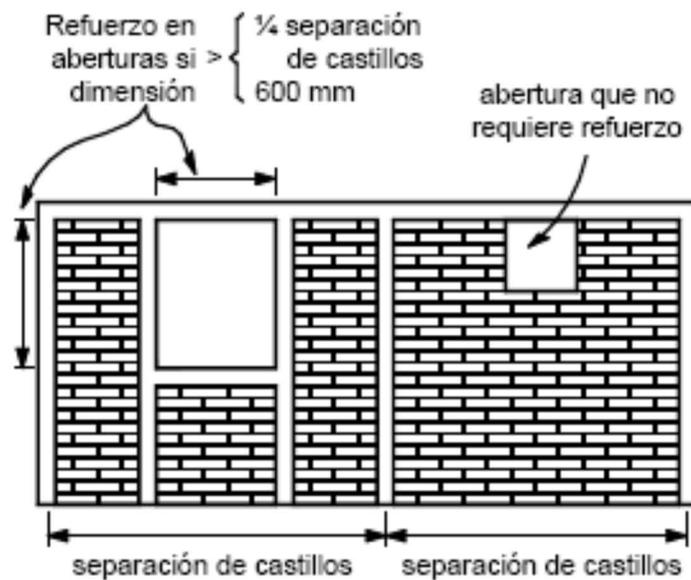


Imagen 2.6. b) Castillos y dalas y refuerzo en el perímetro de aberturas.

Fuente: NTCM - 2004.

Muros reforzados interiormente.

Estos muros son aquellos que llevan acero de refuerzo ya sean barras ó alambres corrugados, se pueden poner en sentido horizontal o vertical dentro de las piezas, en ductos ó en las juntas. Están sujetos a cumplir con lo establecido en los incisos 6.1.1 a 6.1.9 de las NTCM tal y como se muestra en las imágenes 2.7a y 2.7b.

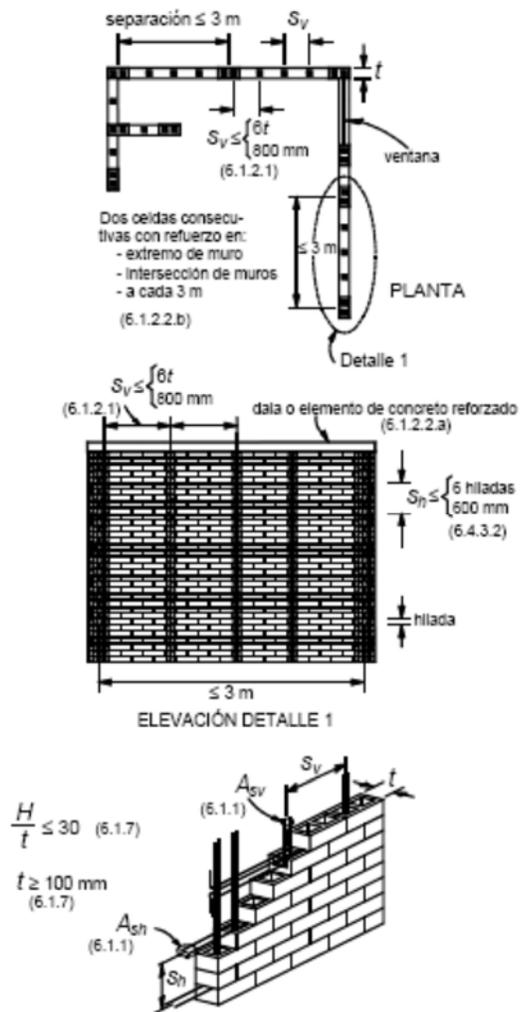
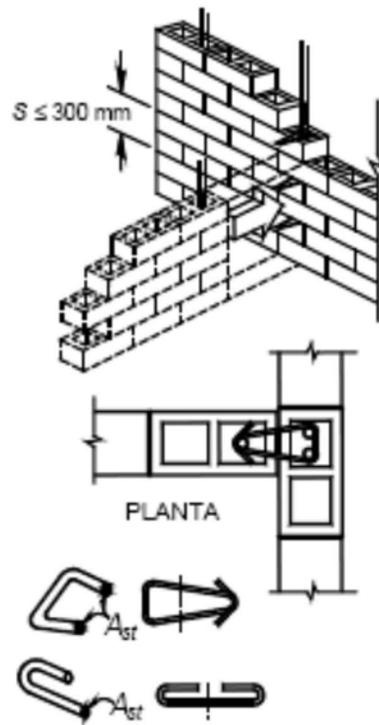


Imagen 2.7. a) Requisitos para mampostería con refuerzo interior.

Fuente: NTCM - 2004.



Conectores entre muros sin traslape de piezas

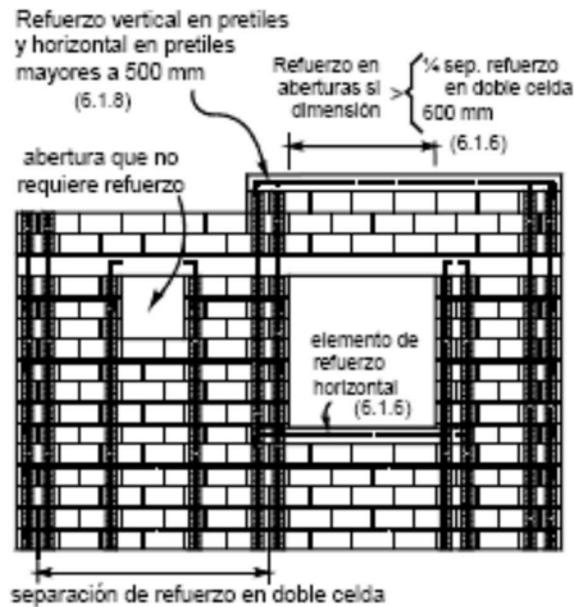


Imagen 2.7. b) Refuerzo en aberturas y perfiles.
Fuente: NTCM - 2004.

En estos muros se requiere tener supervisión constante de tal manera que se garantice que el refuerzo queda colocado adecuadamente de acuerdo a lo estipulado en los planos, ya que los huecos en donde se coloca el refuerzo deben de quedar colocados completamente. Para los huecos en posición vertical se podrán rellenar los espacios que no lleven acero con el mismo mortero con el que se colocaron las piezas.

Muros no reforzados.

En los casos anteriores los muros llevan acero de refuerzo ya sea interiormente o con las dalas y castillos, de tal manera que los muros que no cumplan con las especificaciones anteriores se incluirán dentro de esta categoría.

Cualquier muro que sea estructural y con fines de carga debe contener refuerzo por integridad con las cuantías y características establecidas en las secciones 7.3.1 a 7.3.3 de las NTCM. Dicho refuerzo debe de ir colocado en secciones rectangulares de concreto reforzado de al menos 50 mm de lado como se muestra en la imagen 2.8.

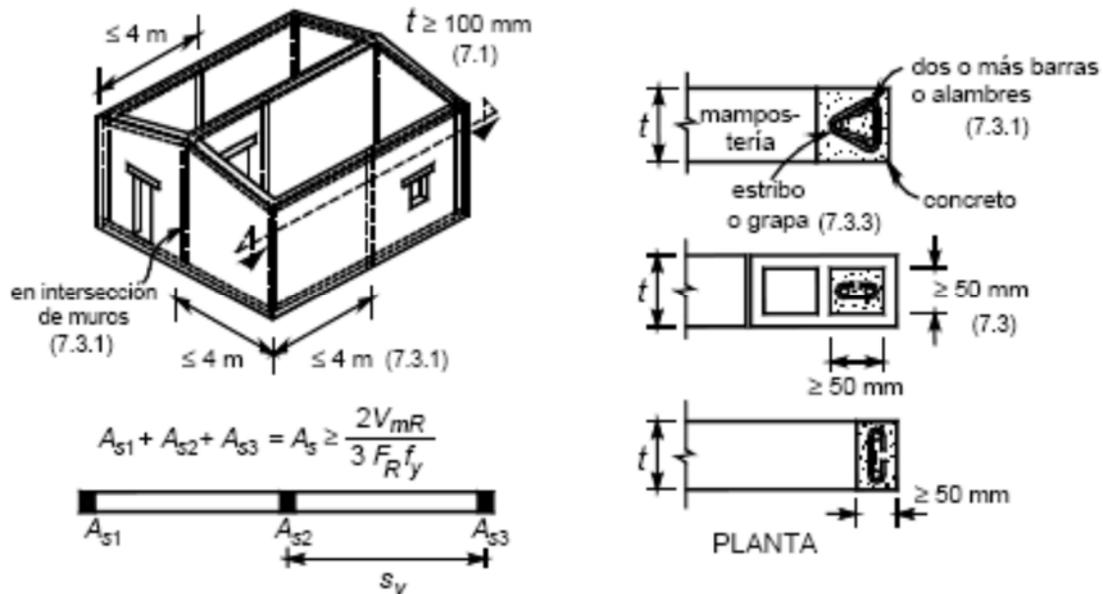


Imagen 2.8. Refuerzo por integridad.
Fuente: NTCM - 2004.

2.3 Sistemas de piso.

Son sistemas estructurales y su función es soportar y transmitir las cargas verticales a las trabes, dalas y muros. Existen de muchos tipos, varían según su trabajo en dirección unidireccional o bidireccional, además de su geometría y cualidades constructivas.

Sus ventajas y desventajas varían para el promotor, constructor y usuario, principalmente por el costo que generan, mientras que para el estructurista siempre tiene que ver la eficiencia con la que se comportan estructuralmente.

2.3.1 Desempeño estructural deseable.

- Ante las cargas gravitacionales deben de cumplir con las deformaciones verticales permisibles, durante su construcción y después de ella.

- b) La vibración que tengan al recibir un impacto debe ser aceptable para el usuario.
- c) Deben de tener un desempeño como diafragma para tener la correcta unión con los elementos verticales durante un sismo o vientos fuertes, para garantizar la aplicación de métodos simplificados y métodos detallados de análisis.

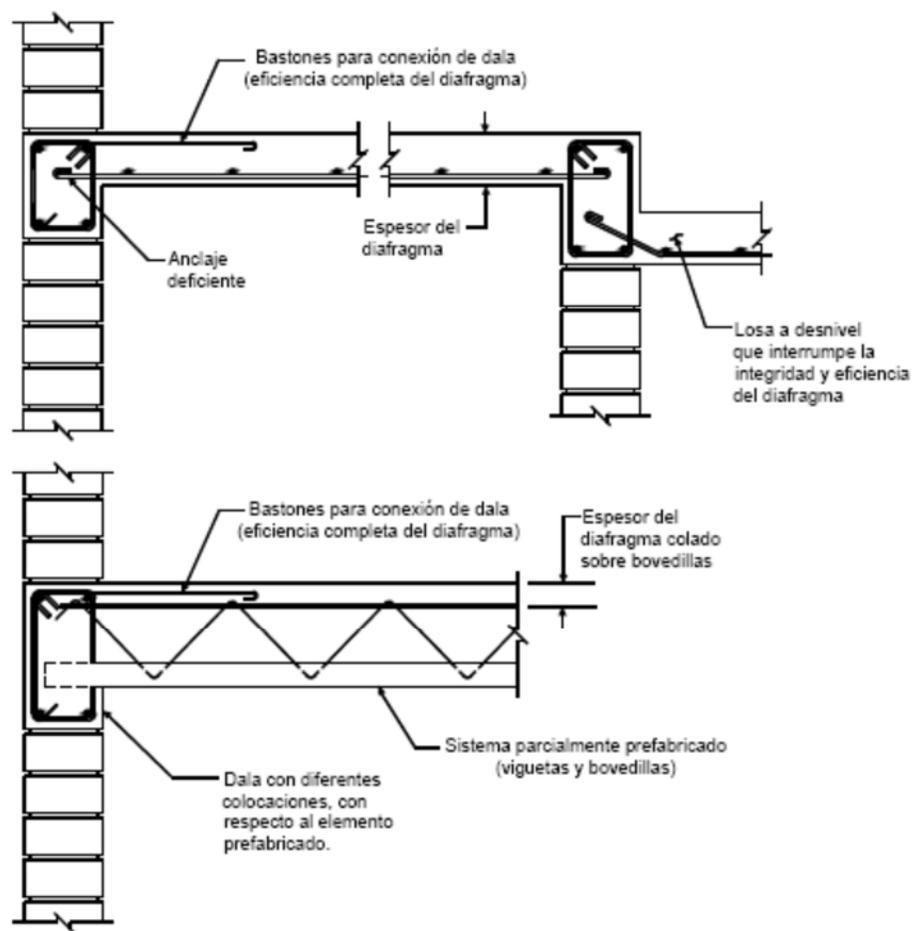


Imagen 2.9. Detalles y recomendaciones constructivas.

Fuente: Edificaciones de mampostería para vivienda, Fundación ICA, A. C.

En la imagen 2.9 se muestran las uniones del diafragma con las trabes. Generalmente la conexión correcta del diafragma con dalas, trabes y muros se

supone por la práctica común, sin embargo cada vez es de mejor conocimiento del estructurista, con lo cual se tienen recomendaciones constructivas.

2.4 Daños estructurales en estructuras de mampostería.

Al haber observado que a causa de los sismos de 1985 en la ciudad de México muchas estructuras quedaron severamente dañadas se implementaron nuevas medidas de seguridad para diseño sísmico basándose en lo ocurrido en las estructuras.

Para dar claridad a lo observado se dividieron las edificaciones de mampostería en los siguientes tipos: de adobe, sin refuerzo, confinada, con refuerzo interior, muros diafragma y elementos no estructurales (divisorios o de relleno). En seguida se describe el comportamiento observado después de los sismos más importantes en México desde 1985.

2.4.1 Edificaciones de adobe.

Dichas edificaciones generalmente eran de autoconstrucción, localizadas en áreas rurales en zonas de alta sismicidad.

Tras observaciones se determinó que la mayoría de las construcciones tenían un sistema de techo apoyado en una viga cumbreira de madera, en dirección longitudinal, lo cual provocó grietas verticales en muros transversales. En las casas que contaban con un refuerzo vertical como polines el daño observado disminuyó.

Una estadística realizada tras el sismo del 11 de enero de 1997 ($M_s = 7.2$) que afectó a comunidades del Estado de Michoacán, logró determinar que dichas

construcciones son de alta vulnerabilidad, ya que sólo el 1 % de 1 770 muestras no presentó daño, el 74 % tuvo daños reparables y el 25 % daños severos o el colapso de la estructura.

El tipo de falla que se presenta más constantemente por sismo en las estructuras de adobe son las grietas verticales en las esquinas de la vivienda donde hace unión un muro perpendicular. Otros daños que se observaron son las grietas por falta de elementos de cierre en puertas y ventanas, así como la caída en la parte central de muros muy largos, agrietamiento inclinado en muros y la caída del techo.

En la imagen 2.10 se resumen los daños ocasionados en dichas estructuras.

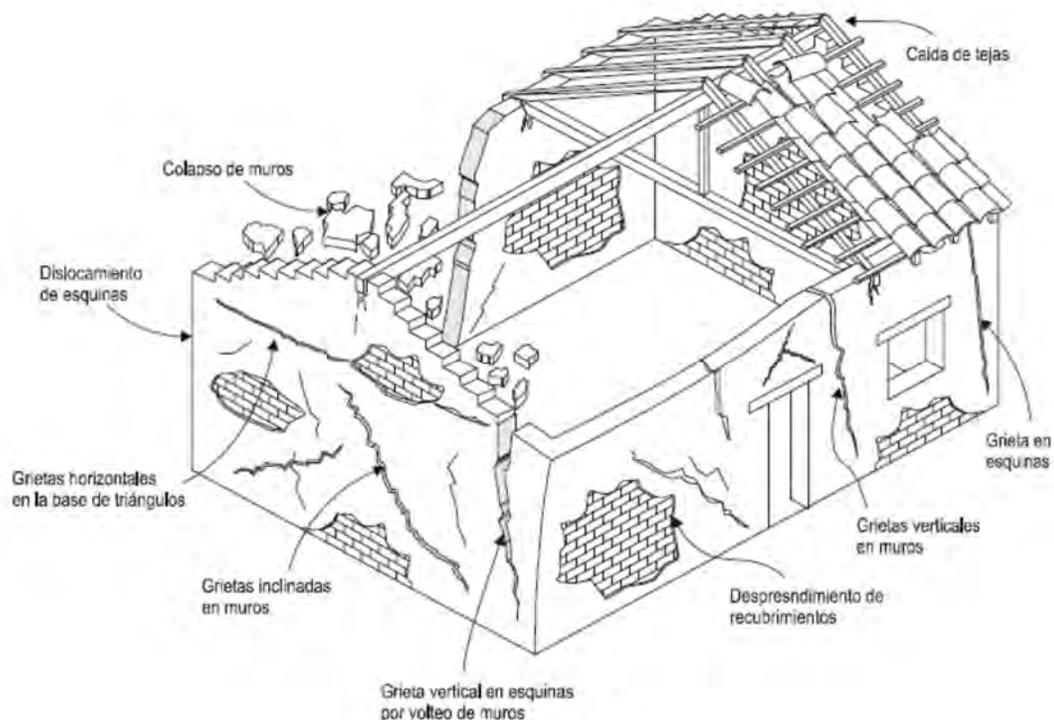


Imagen 2.10 Daños ocasionados en la vivienda de adobe

Fuente: Flores y otros

El daño antes descrito se atribuye principalmente a:

- a) Poca capacidad a tensión.
- b) Falta de confinamiento en el perímetro de muros, así como de aberturas.
- c) Mala unión entre las esquinas de los muros, aún traslapando las piezas.
- d) Demasiado peso en el techo.
- e) Falta de mantenimiento.

2.4.2 Edificaciones de mampostería sin refuerzo.

En las observaciones de campo realizadas se muestra que las estructuras hechas básicamente con piezas macizas sin ningún refuerzo, ya sea interior o perimetral, ha sido casi igual al de las estructuras de adobe. Su mal funcionamiento es provocado principalmente por una mala configuración estructural. Por ejemplo, después del sismo del 9 de octubre de 1995, originado en Manzanillo, se observó que a las construcciones antiguas existentes de este material se



Imagen 2.11 Inadecuada conexión de muros de mampostería con elementos confinantes.

Fuente: López y Teshigawara.

les fue añadiendo un piso superior, unos con las características descritas y otros con confinamiento a base de dalas y castillos de concreto reforzado, lo cual provocó una

conexión deficiente entre los niveles y trajo consigo las fallas consecuentes por una mal traslape del refuerzo longitudinal en los castillos. Adicionalmente los daños ocasionados también fueron por el uso indebido de polines de madera como confinamiento, o bien castillos de concreto sin ligarlos al muro de mampostería, lo cual provocó una falla por flexión fuera del plano del muro como se muestra en la imagen 2.11.

Existen cuatro tipos de patrones de agrietamiento y causas de daño en estructuras de mampostería confinada, causados por el mal confinamiento de dalas y castillos con el muro de mampostería, los cuales son:

1. Grietas inclinadas, el cual se produce por esfuerzos de tensión diagonal en las piezas.
2. Grietas con forma de escalera, ocurren en zonas de la junta del mortero, son ocasionadas por el esfuerzo cortante.
3. Grietas verticales en esquinas y en el centro, se originan por la flexión fuera del plano del muro y el volteo de la estructura.
4. Grietas con forma de placa perimetralmente apoyada, formadas por los esfuerzos cortantes y el volteo de la estructura.

2.4.3 Edificaciones de mampostería confinada.

La mampostería confinada es el sistema constructivo más usado en México, es a base de muros de carga, los cuales están hechos de piezas macizas o huecas, de barro recocido o de concreto, confinados con elementos de concreto reforzado (dalas y castillos).

Para determinar el desempeño de éstas estructuras a partir del sismo de 1985, fue necesario hacer revisiones de campo y un estudio detallado de 23 muestras de hasta cuatro niveles. Los resultados obtenidos muestran que en el 56% las grietas se originaron por hundimientos diferenciales, el empleo de materiales pobres o bien con deterioros por el intemperismo, así como a la falta de confinamiento. El 44% restante demostró que el daño se debió a una reducida cantidad de muros, en una o en ambas direcciones, añadido a que los muros tenían una distribución asimétrica que originó grandes torsiones en planta.

Los daños más significantes están asociados a una baja densidad de muros y disminuye conforme los muros aumentan. Otros daños fueron ocasionados porque varias de las muestras fueron por autoconstrucción, por lo que no tenía una configuración estructural adecuada para resistir las fuerzas sísmicas, por ejemplo, grandes aberturas en los muros, ausencia de muros en la planta baja, distribución irregular de muros y separación inadecuada entre construcciones colindantes.

Otra causa de fallas se debe a la licuación, es decir deformación excesiva, de los rellenos sobre los cuales están cimentadas las viviendas. Esto ocasionó el asentamiento de las construcciones y el levantamiento del piso, de concreto sin refuerzo, así como daño en los muros.

Sin embargo, en las edificaciones en donde se observó criterios ingenieriles en su construcción, como los descritos en las normas, se notó un buen comportamiento.

Se han realizado estudios mediante ensayos en muros a escala real ante fuerzas horizontales cíclicas reversibles. Se ha observado que en los primeros ciclos, se produce el primer agrietamiento y conserva un comportamiento aproximadamente elástico-lineal. Al ocurrir el primer agrietamiento inclinado se empieza a degradar la rigidez, como se muestra en la imagen 2.12a. Después aparecen más grietas inclinadas en dirección de las diagonales de los tableros.

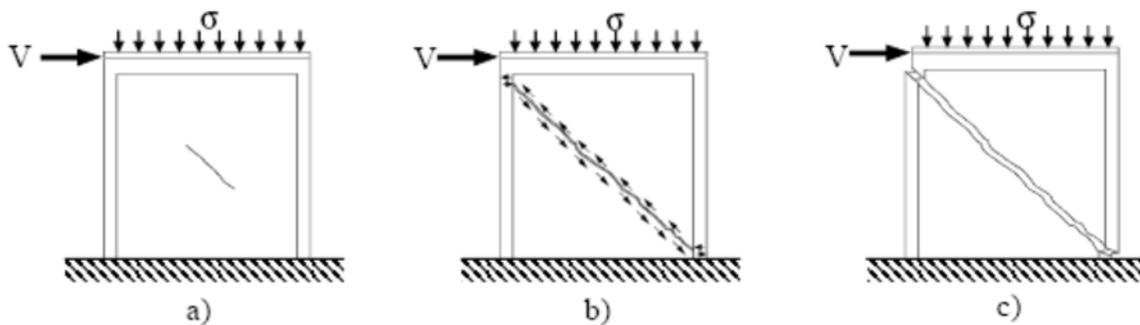


Imagen 2.12. Patrón de daño ante fuerzas horizontales.
Fuente: Flores, 1995.

Cuando las grietas se extienden a todo lo largo de la diagonal, el muro queda dividido en dos partes triangulares, aún con confinamiento. Los castillos proporcionan la resistencia a la fuerza horizontal con la acción de la fuerza cortante más la contribución de la mampostería y la trabazón generada por el agrietamiento (imagen 2.12b).

La resistencia llega a su máximo cuando las grietas traspasan los extremos de los castillos, lo cual ocasiona la desintegración del concreto y el pliegue de las varillas (imagen 2.12c).

En general, para que estas estructuras trabajen adecuadamente, es necesario cumplir en los muros los requisitos para mampostería confinada mencionados anteriormente.

2.4.4 Edificaciones de mampostería con refuerzo interior.

Son muros hechos a base de piezas huecas, lo cual permite añadir refuerzo interior mediante barras de acero de diámetro pequeño, vertical y horizontalmente, colocadas entre las piezas y en la junta horizontal del mortero. En México casi no se utiliza esta técnica, ya que debido a lo complejo de su construcción requiere mayor supervisión para obtener un buen comportamiento de la estructura, al no ocurrir la correcta supervisión se llega a tener defectos en los muros, los cuales le han dado una mala reputación. La colocación de las piezas es muy compleja, ya que hay que pasar de una por una a través del refuerzo, como se puede deducir de la imagen 2.13.



Imagen 2.13. Detalle de piezas huecas con refuerzo interior.

Fuente: Edificaciones de mampostería para vivienda, Fundación ICA, A. C.

Se puede decir que en México el desempeño sísmico observado no ha sido adecuado, generalmente ocasionado por la falta de supervisión durante su construcción. Otras desventajas observadas son:

- Fallas locales de las piezas huecas al haber desprendimiento de sus paredes.
- Mal anclaje del refuerzo interior con elementos exteriores.
- Necesita altas cantidades de refuerzo para garantizar un buen comportamiento.

2.4.5 Muros diafragma

Muros diafragma o muros tapón son aquellos que se utilizan de relleno, total o parcial, en los marcos resistentes a momento de concreto o hacer. Se emplea ladrillo artesanal o bloques de concreto. En la práctica constructiva mexicana se acostumbra a unirlos con el marco principal, lo cual, incrementa la rigidez lateral y modifica la distribución de fuerzas entre los elementos resistentes.

Una causa que generalmente produce daño cuando se utiliza este tipo de muros es lo que se denomina columna corta, es decir, que el muro llena parcialmente la altura de la crujía del marco, lo cual provoca que la parte superior de la columna trabaje con una fuerza cortante mayor que la que se consideró en su diseño, debido a que el muro incremento la rigidez, como se muestra en la imagen 2.14. En dicha zona se genera la falla por cortante. Otras fallas que ocasionan este tipo de muros son que generan excentricidades excesivas en planta y, por lo tanto, efectos de torsión.

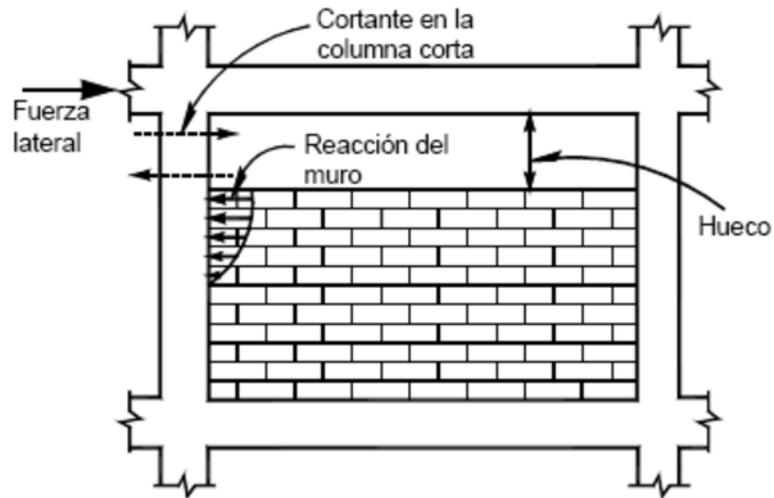


Imagen 2.14. Efecto de columna corta en muro diafragma de altura incompleta.
Fuente: Instituto de ingeniería (1992).

Con el fin de evitar este tipo de fallas, se requiere separar estos elementos del marco principal, por ejemplo con materiales flexibles entre el marco y el muro, o bien como se muestra en la imagen 2.15.

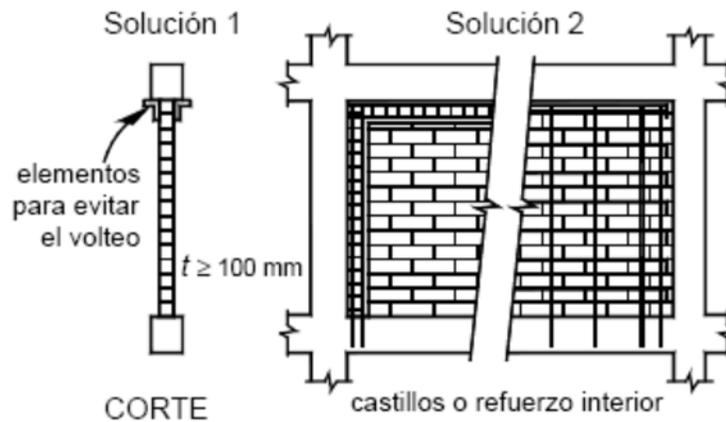


Imagen 2.15. Detallado de muros diafragma.
Fuente: NTCM - 2004.

2.4.5 Edificaciones de mampostería con malla de refuerzo.

La reparación de estructuras dañadas o el refuerzo es muy común en México, debido a que los sismos a los cuales se ven sometidas dichas estructuras suelen ser muy constantes, de tal manera que una de la manera más común de reparar muros

es añadiendo una malla de refuerzo sobre el muro, no sin antes reemplazar las piezas dañadas. Después de esto se cubrirá la malla con mortero.

Según las NTCDF en la sección de mampostería confinada, en el apartado 5.4.4 dice lo siguiente respecto a las consideraciones de la malla y el mortero:

“Fuerza cortante resistida por malla de alambre soldado recubierta de mortero.

Tipo de refuerzo y de mortero.

Se permitirá el uso de mallas de alambre soldado para resistir la fuerza cortante. Las mallas deberán tener en ambas direcciones la misma área de refuerzo por unidad de longitud.

El esfuerzo de fluencia para diseño, f_{yh} , no deberá ser mayor que 500 MPa (5000 kg/cm²).

Las mallas se anclarán y se detallarán de la siguiente manera:

Recubrimiento de refuerzo horizontal.

La distancia libre mínima entre una barra de refuerzo horizontal o malla de alambre soldado y el exterior del muro será la menor de 10 mm o una vez el diámetro de la barra (imagen 2. 16).

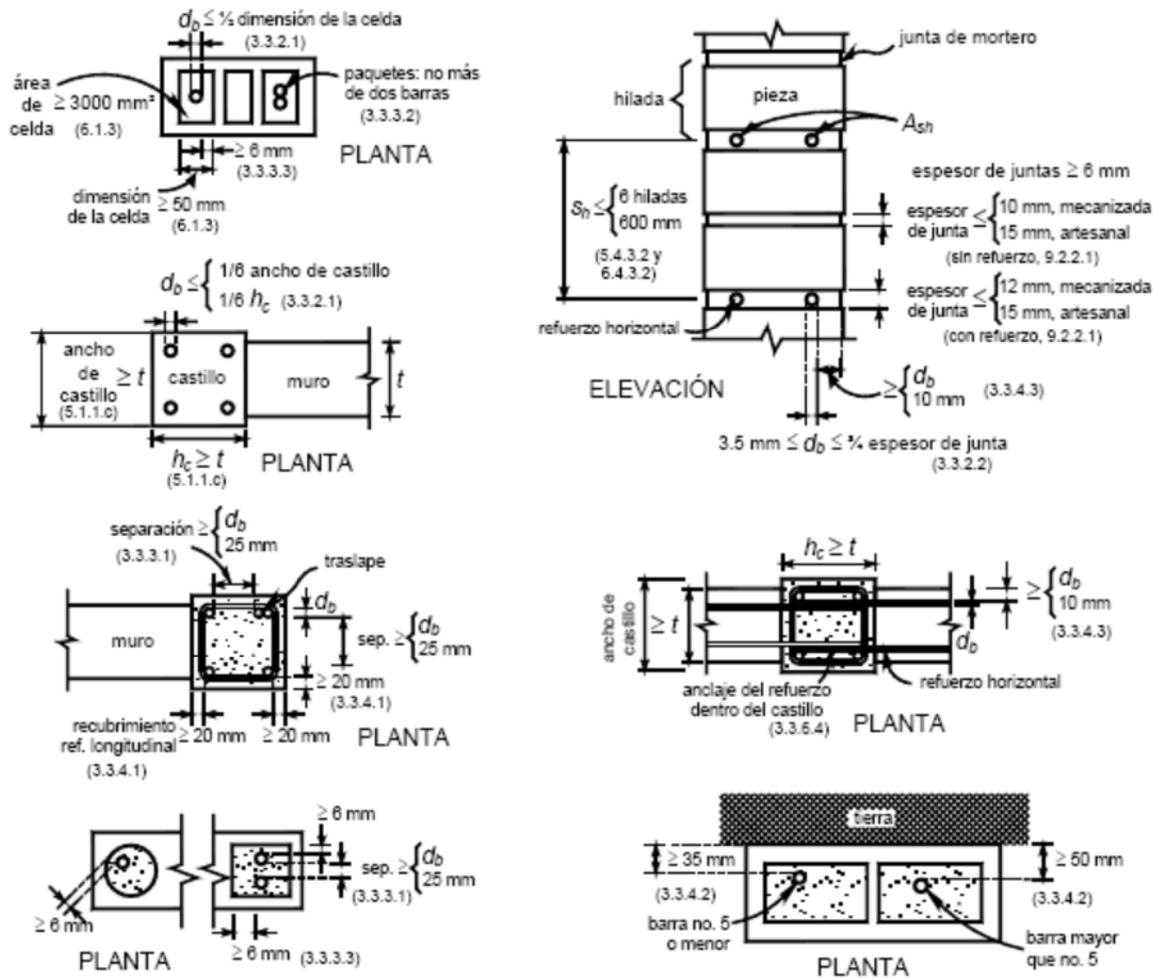


Imagen 2.16. Tamaño, colocación y protección del refuerzo.
Fuente: NTCM - 2004.

Mallas de alambre soldado.

Las mallas de alambre soldado se deberán anclar a la mampostería, así como a los castillos y dadas si existen, de manera que pueda alcanzar su esfuerzo especificado de fluencia (imagen 2.17). Se aceptará ahogar la malla en el concreto; para ello, deberán ahogarse cuando menos dos alambres perpendiculares a la dirección de análisis, distando el más próximo no menos de 50 mm de la sección considerada (imagen 2.17). Si para fijar la malla de alambre soldado se usan

conectores instalados a través de una carga explosiva de potencia controlada o clavos de acero, la separación máxima será de 450 mm.

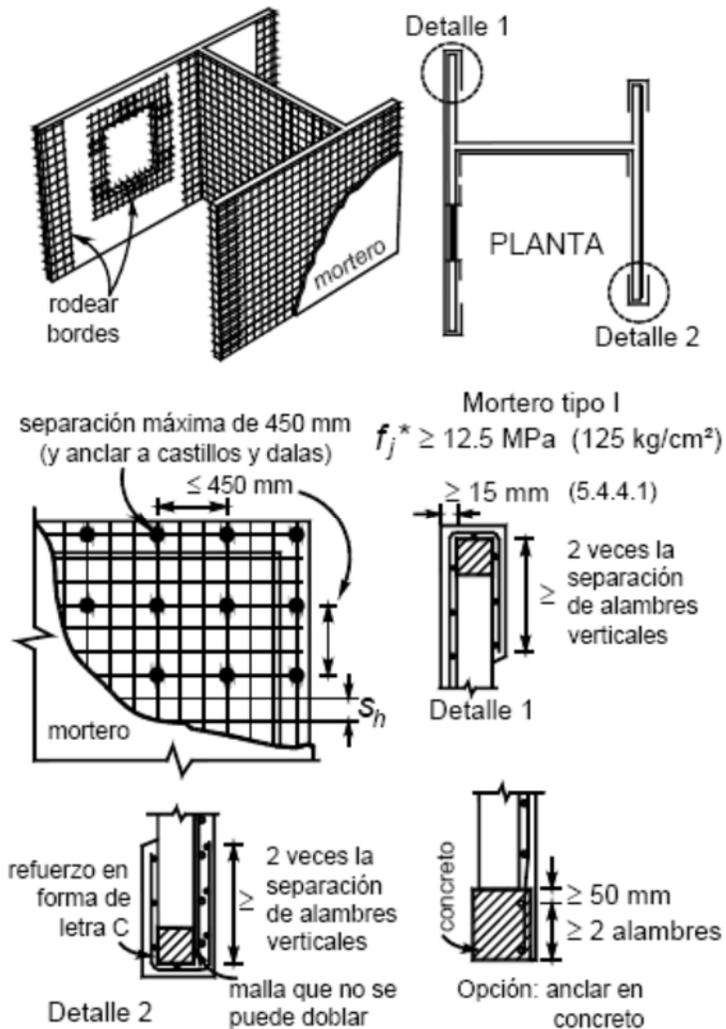


Imagen 2.17. Refuerzo con malla de alambre soldado y recubrimiento de mortero.
Fuente: NTCM - 2004.

Las mallas deberán rodear los bordes verticales de muros y los bordes de las aberturas. Si la malla se coloca sobre una cara del muro, la porción de malla que rodea los bordes se extenderá al menos dos veces la separación entre alambres transversales. Esta porción de malla se anclará de modo que pueda alcanzar su esfuerzo especificado de fluencia.

Si el diámetro de los alambres de la malla no permite doblarla alrededor de bordes verticales de muros y los bordes de aberturas, se aceptará colocar un refuerzo en forma de letra C hecho con malla de calibre no inferior al 10 (3.43 mm de diámetro) que se traslape con la malla principal según lo indicado en las uniones de barras.

Se admitirá que la malla se fije en contacto con la mampostería.

Uniones de barras.

a) Barras sujetas a tensión

La longitud de traslapes de barras en concreto se determinará según lo especificado para concreto reforzado. No se aceptan uniones soldadas. Si las barras se traslapan en el interior de piezas huecas, la longitud del traslape será al menos igual a $50 db$ en barras con esfuerzo especificado de fluencia de hasta 412 MPa (4 200 kg/cm²) y al menos igual a $60 db$ en barras o alambres con esfuerzo especificado de fluencia mayor; db es el diámetro de la barra más gruesa del traslape. El traslape se ubicará en el tercio medio de la altura del muro. No se aceptan traslapes de más del 50 por ciento del acero longitudinal del elemento (castillo, dala, muro) en una misma sección.

No se permitirán traslapes en los extremos de los castillos (ya sean éstos exteriores o interiores) de planta baja a lo largo de la longitud H_o , definida en el inciso h de castillos y dales interiores.

No se permitirán traslapes en el refuerzo vertical en la base de muros de mampostería reforzada interiormente a lo largo de la altura calculada de la articulación plástica por flexión.

b) Mallas de alambre soldado

Las mallas de alambre soldado deberán ser continuas, sin traslape, a lo largo del muro. Si la altura del muro así lo demanda, se aceptará unir las mallas. El traslape se colocará en una zona donde los esfuerzos esperados en los alambres sean bajos. El traslape medido entre los alambres transversales extremos de las hojas que se unen no será menor que dos veces la separación entre alambres transversales más 50 mm.

Las mallas deberán ser recubiertas por una capa de mortero tipo I (tabla 2.3) con espesor mínimo de 15 mm.

Cuantías mínima y máxima de refuerzo.

Para fines de cálculo, sólo se considerará la cuantía de los alambres horizontales. Si la malla se coloca con los alambres inclinados, en el cálculo de la cuantía se considerarán las componentes horizontales.

En el cálculo de la cuantía sólo se incluirá el espesor de la mampostería del muro, t .

Las cuantías mínima y máxima serán:

Si se coloca acero de refuerzo horizontal para resistir fuerza cortante, la cuantía de acero de refuerzo horizontal, ρ_h , no será inferior a $\frac{0.3}{f_{yh}}$ si se usan MPa

($\frac{3}{f_{yh}}$, si se usan kg/cm²) ni al valor que resulte de la expresión siguiente:

$$\rho_h = \frac{V_{mR}}{F_R f_{yh} A_T}$$

En ningún caso ρ_h será mayor que $0.3 \frac{f_m^*}{f_{yh}}$; ni que $\frac{1.2}{f_{yh}}$ para piezas macizas, ni que $\frac{0.9}{f_{yh}}$ para piezas huecas si se usan MPa ($\frac{12}{f_{yh}}$ y $\frac{9}{f_{yh}}$, respectivamente, si se usan kg/cm²).

Diseño de la malla.

La fuerza cortante que tomará la malla se obtendrá con la siguiente expresión:

$$V_{SR} = F_R \eta \rho_h f_{yh} A_T$$

No se considerará contribución a la resistencia por el mortero.”

2.4.6 Comparación entre muros sin refuerzo, confinados y con malla de refuerzo.

En la mayoría de los reglamentos de México se especifican los requisitos que se deben de tomar en cuenta en las aberturas de los muros de mampostería, tal y como se describe en el apartado de muros confinados en el subtema dos de este capítulo.

Sin embargo en la práctica no siempre se acatan los reglamentos al pie de la letra, de tal manera que siempre hay piezas que son más vulnerables que otras, por ejemplo en los casos de las aberturas sin refuerzo en su perímetro, lo que da lugar a una falla en la estructura, tal y como se muestra en la imagen 2.18.



Imagen 2.18. Daño en aberturas no reforzadas por el sismo de Tecomán.
Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

Por los motivos anteriores, se propuso analizar dos muros con una abertura tipo ventana al centro, sometidos a una fuerza horizontal cíclica representando un sismo. La única diferencia entre los muros es que el primero (MV-1) no tiene refuerzo en el perímetro de sus aberturas y el segundo (MV-2) está hecho de acuerdo a las especificaciones que se marcan en las normas técnicas complementarias para el diseño de estructuras de mampostería, del reglamento de construcciones para el Distrito Federal (GDF, 2004).

Las dimensiones de los modelos se especifican en las imágenes 2.19 y 2.20.

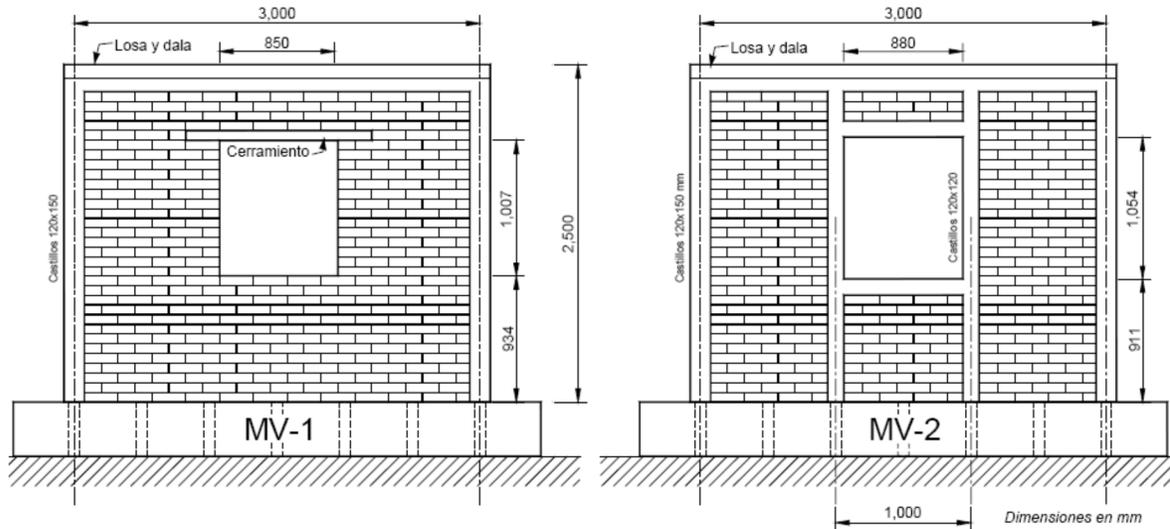


Imagen 2.19. Dimensiones generales de los modelos.
Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

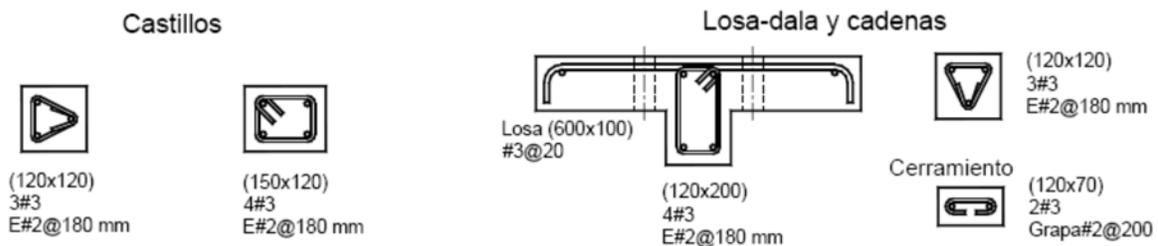


Imagen 2.20. Armado de elementos de concreto.
Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

Los materiales utilizados cumplen con los requisitos según las tablas de valores índice de las NTCM. Adicionalmente se agregó peso en la parte superior mediante una viga de acero y unas barras aplicaron la carga vertical, esto con la finalidad de simular una construcción de 2 niveles, la carga horizontal que se le aplicó simulando un sismo se realizó mediante un gato hidráulico, tal y como se muestra en la imagen 2. 21.

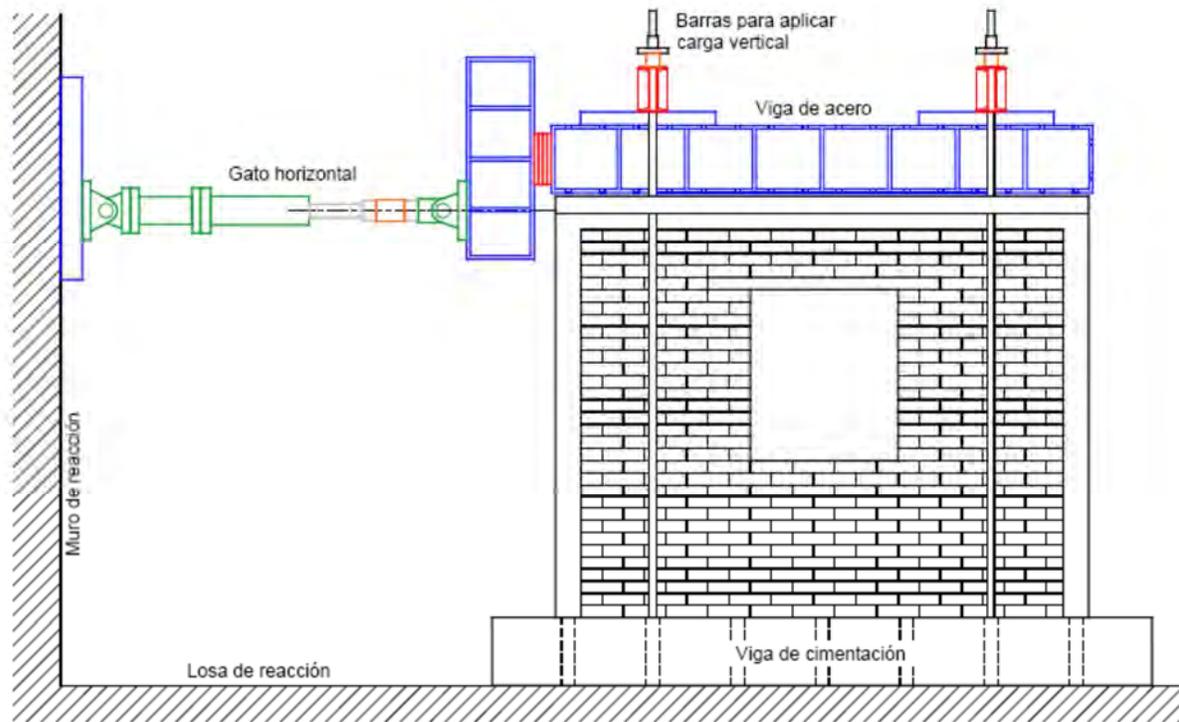


Imagen 2.21. Marco de carga.

Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

Los resultados obtenidos fueron, para el modelo MV-1, las grietas aparecieron inclinadas en ambas direcciones formando una “X” en cada segmento del muro, donde las grietas principales van dirigidas desde los extremos superior e inferior de los castillos de los extremos hacia las esquinas de la abertura, tal y como se muestra en la imagen 2.22, las grietas alcanzaron anchuras de más de 10 mm en la mampostería. Para el modelo MV-2 se observaron características muy similares a las del MV-1, como se muestra en la imagen 2.23, en este modelo las grietas comenzaron a penetrar los castillos en sus extremos.

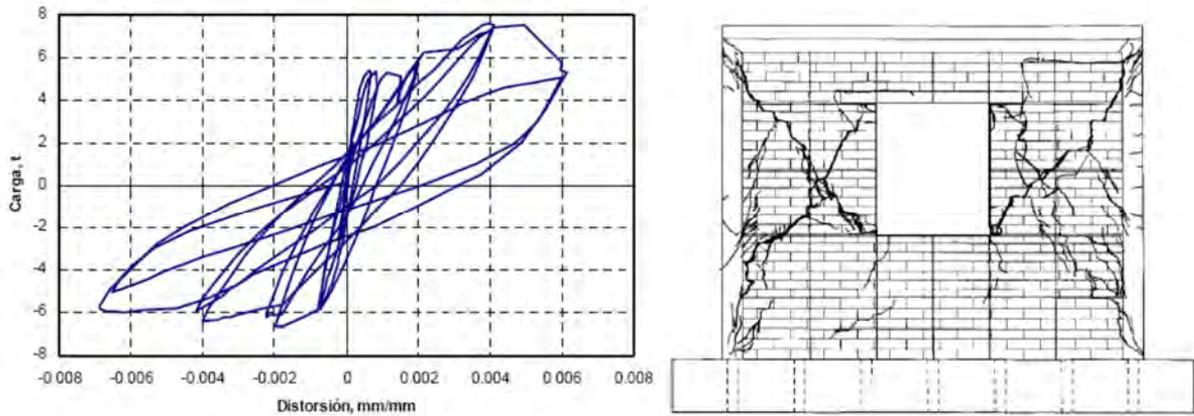


Imagen 2.22. Curva de histéresis y patrón final del daño, MV-1, cara Norte.
Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

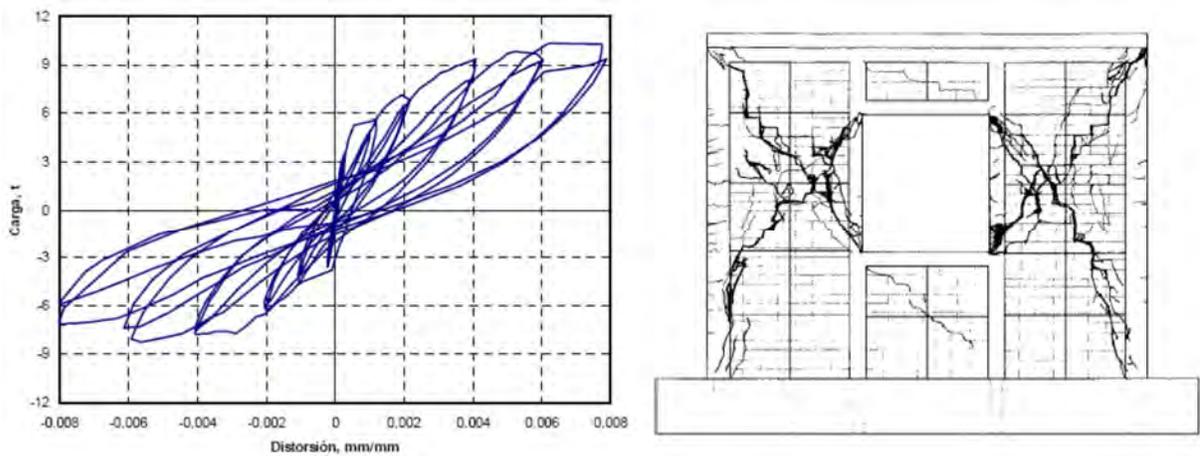


Imagen 2.23. Curva de histéresis y patrón final del daño, MV-2, cara Norte.
Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

Al hacer una comparación entre los dos modelos se obtiene una gráfica donde se puede comparar los envolventes de los ciclos positivos, imagen 2.24, en esta imagen se marcan con rombos la carga que genera el primer agrietamiento inclinado, y con línea punteada está señalada la carga de agrietamiento teórico y la rigidez de la parte elástica de acuerdo al Reglamento de Construcción del Distrito Federal.

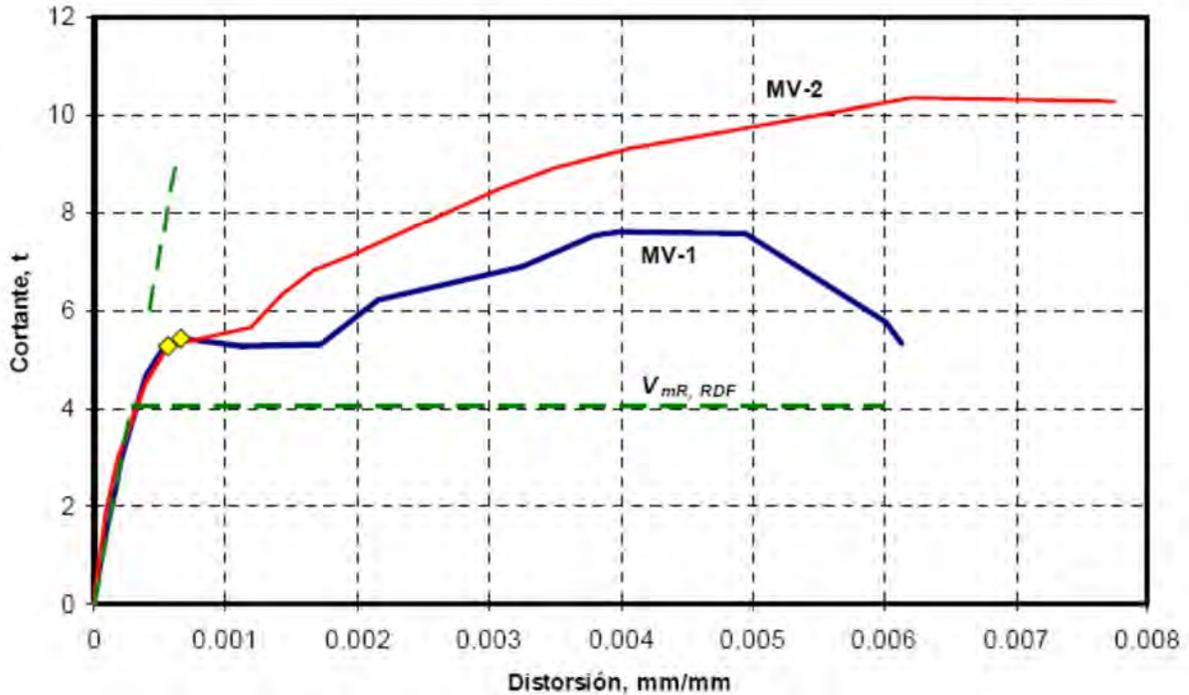


Imagen 2.24. Envolvente de respuesta.

Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

Se puede apreciar que la carga de agrietamiento fue la misma, sin embargo el modelo adecuadamente confinado logró alcanzar una mayor resistencia en la etapa de daño. Además el modelo con refuerzo en la ventana tiene un aumento en la capacidad de deformación, lo cual no tiene el modelo sin refuerzo.

Ahora bien, en estos modelos dañados se implementará el uso una malla y recubrimiento de mortero con la finalidad de reparar los daños ocasionados por la prueba, una vez que se han sustituido las piezas y castillos dañados y colocada la malla con su recubrimiento de mortero, de acuerdo a las especificaciones de las NTCM, se aplican los mismos procedimientos que en los modelos anteriores para saber su comportamiento.

Los resultados obtenidos fueron, para el MV-1R, el modelo se comportó casi de forma elástica lineal hasta el primer agrietamiento. Las grietas empezaron a surgir lentamente con pequeñas grietas inclinadas de aproximadamente 1.5 mm de ancho en el punto de carga máxima. Cuando la prueba se dirigía a una distorsión de 0.008, se empezaron a fracturar los alambres de la malla y llegada la distorsión 0.0084, se perdió la capacidad de carga lateral fallando el resto de los alambres y formando grietas de 20 mm de anchura como se muestra en la imagen 2.25. Para el MV-2R el comportamiento fue muy similar al modelo MV-1R, a diferencia de que las primeras grietas aparecieron solo de 0.3 mm de ancho con la carga y se cerraron a 0.1 mm al descargar, es este espécimen no ocurrió falla súbita, pero sí se fracturaron varios alambres al llegar a la distorsión 0.008. Las mayores grietas fueron donde se fracturaron los alambres alcanzando una anchura de 10 mm, tal y como se muestra en la imagen 2.26.

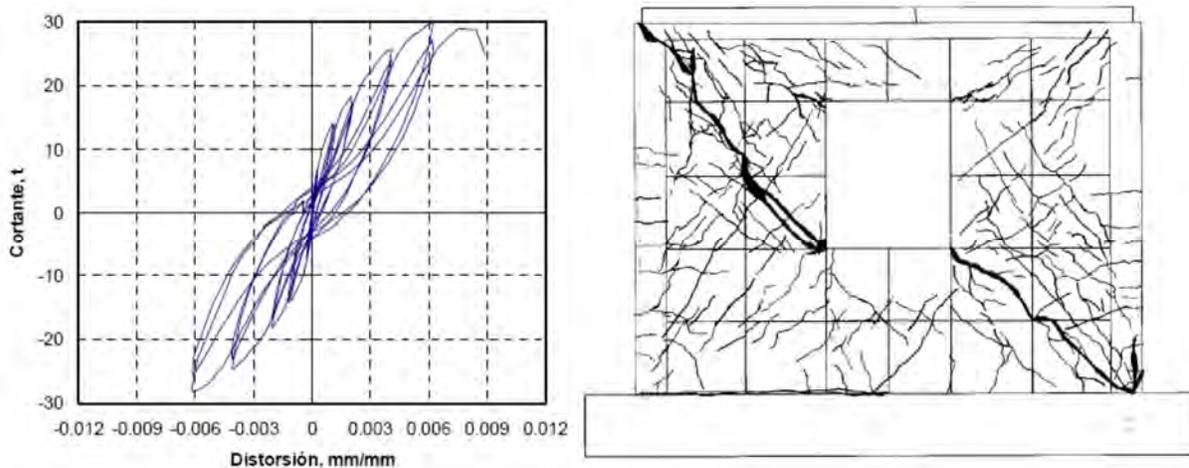


Imagen 2.25. Curva de histéresis y patrón final del daño, MV-1R, cara Norte.

Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

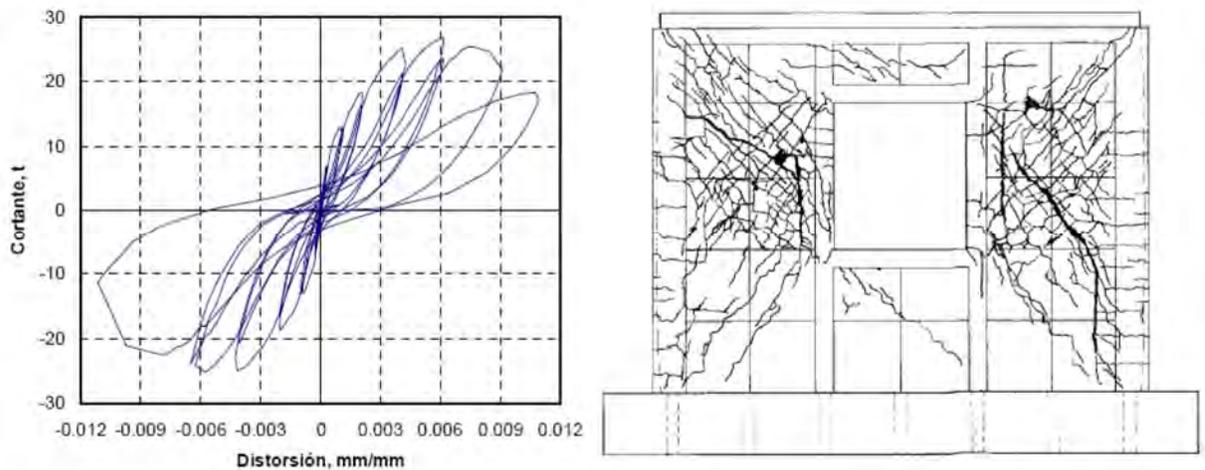


Imagen 2.26. Curva de histéresis y patrón final del daño, MV-2R, cara Norte.
Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

Los especímenes reforzados con la malla muestran una aceptable distribución de los agrietamientos en contraste con los originales. Se puede apreciar que el MV-2R se comportó mejor ante las grietas que el MV-1R. En este caso el confinamiento adecuado de la ventana fue el que contribuyó para evitar las grietas que aparecen en el modelo sin refuerzo en la ventana. En la imagen 2.27 se muestran las envolventes de los ciclos positivos de los dos modelos para poder compararlos, adicionalmente se añaden las envolventes de los modelos originales. Con rombos se marca el primer agrietamiento inclinado y con línea punteada la estimación de la resistencia teórica de acuerdo a las NTCM, así como la opción que toma en cuenta el mortero.

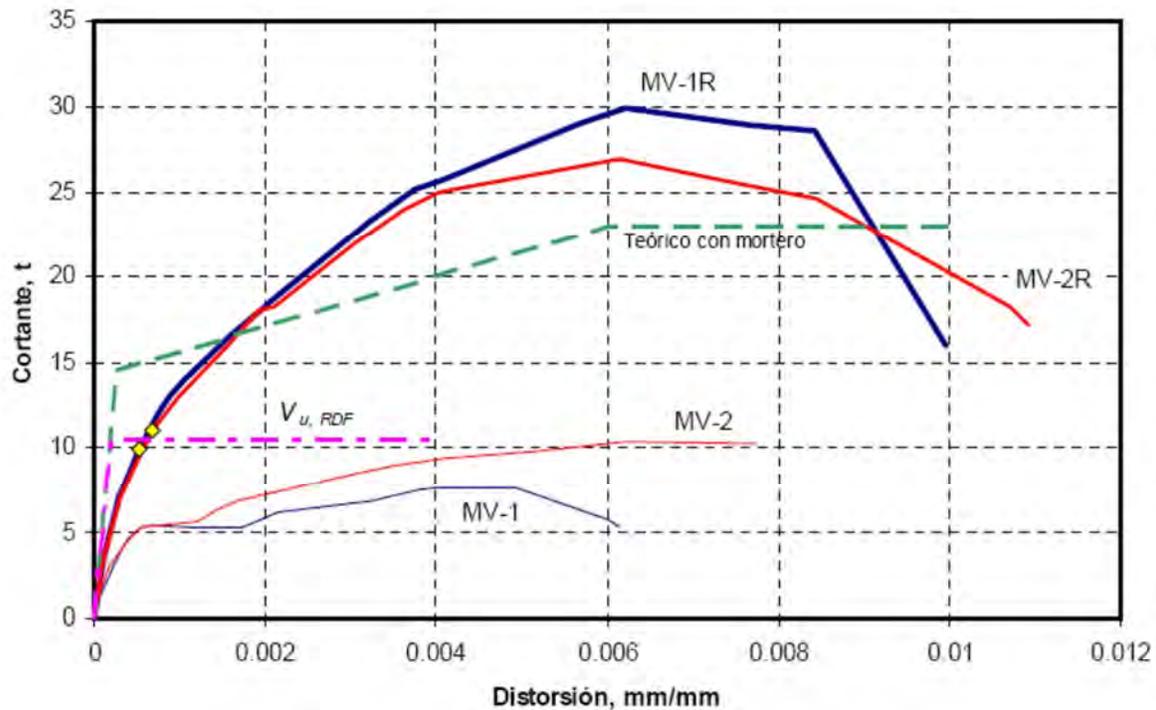


Imagen 2.27. Envolvente de respuesta.
Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

Era de esperarse que el espécimen con refuerzo en la ventana tuviera igual o mayor resistencia, realmente alcanzó una carga un poco menor que el muro que no lo tenía. Puede ser que se deba a diferencias en la resistencia del mortero y espesor final de los aplanados. Por lo tanto se pueden considerar iguales las envolventes de los dos modelos.

En cuanto a la resistencia respecto a los modelos originales, se puede apreciar que aumentó considerablemente. El modelo MV-1R fue 3.9 veces más resistente que su original y el MV-2R fue 2.6 veces más que su original.

Por lo tanto se concluye que la técnica de reparación mediante malla es sumamente efectiva, considerando que si se tiene confinamiento previo será mejor su comportamiento ya que los alambres no fallarán súbitamente.

CAPÍTULO 3

MÉTODO DE ANÁLISIS SÍSMICO.

Ante los daños que los sismos causan a las estructuras se vio en la necesidad de implementar medidas para evitar que éstos sucedan. Para ello se crearon los métodos de análisis sísmico.

Ahora bien, no todos los métodos sirven para todas las estructuras, ya que se basan en sus características, tales como la importancia, complejidad y comportamiento esperado de una construcción. Estos métodos van desde los más simples, para construcciones sencillas, hasta los más refinados para obras complejas y de gran importancia.

Para el caso de las construcciones a base de muros de carga el que más se utiliza es el método simplificado. Por lo tanto es el que se aplicará.

3.1 Método simplificado.

Este método de análisis sísmico es muy utilizado para edificaciones de mampostería, en las normas técnicas de mampostería se menciona en el apartado 3.2.3.3, el cual dice:

Método simplificado

Será admisible considerar que la fuerza cortante que toma cada muro o segmento es proporcional a su área transversal, ignorar los efectos de torsión, de momento de volteo y de flexibilidad de diafragma, y emplear el método simplificado de diseño sísmico especificado en el Capítulo 7 de las Normas Técnicas Complementarias para

Diseño por Sismo, cuando se cumplan los requisitos especificados en el Capítulo 2 de las Normas citadas y que son los siguientes:

- a) En cada planta, incluyendo a la apoyada en la cimentación, al menos 75 por ciento de las cargas verticales están soportadas por muros continuos en elevación y ligados entre sí mediante losas monolíticas u otros sistemas de piso suficientemente resistentes y rígidos al corte. Dichos muros tendrán distribución sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales. Para ello, la excentricidad torsional calculada estáticamente, es, no excederá del diez por ciento de la dimensión en planta del entrepiso medida paralelamente a dicha excentricidad, B. La excentricidad torsional es podrá estimarse como el cociente del valor absoluto de la suma algebraica del momento de las áreas efectivas de los muros, con respecto al centro de cortante del entrepiso, entre el área efectiva total de los muros orientados en la dirección de análisis (imagen 3.1). El área efectiva es el producto del área bruta de la sección transversal del muro, AT, y el factor FAE, que está dado por

$$F_{AE} = \left\{ \begin{array}{l} 1.0 \text{ si } \frac{H}{L} < 1.33 \\ \left(1.33 \frac{L}{H}\right)^2 \text{ si } \frac{H}{L} > 1.33 \end{array} \right\}$$

donde H es la altura libre del muro y L es la longitud efectiva del muro. En todos los pisos se colocarán como mínimo dos muros de carga perimetrales paralelos con longitud total al menos igual a la mitad de la dimensión de la planta del edificio en la dirección de análisis (imagen 3.2).

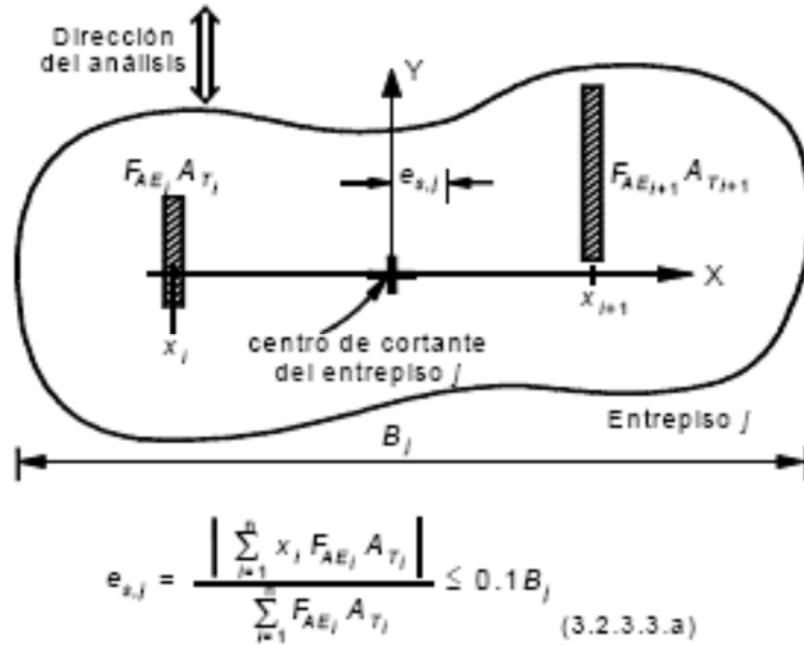


Imagen 3.1. Requisito para considerar distribución simétrica de muros en una dirección.
Fuente: NTCM - 2004.

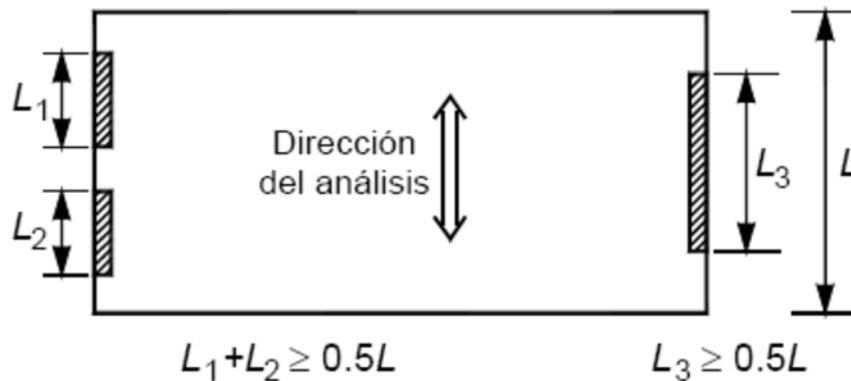


Imagen 3.2. Requisito sobre muros de carga perimetrales paralelos.
Fuente: NTCM - 2004.

b) La relación entre longitud y ancho de la planta del edificio no excede de 2 a menos que, para fines de análisis sísmico, se pueda suponer dividida dicha planta en tramos independientes cuya relación longitud a ancho satisfaga esta

restricción y las que se fijan en el inciso anterior, y cada tramo se revise en forma independiente en su resistencia a efectos sísmicos.

- c) La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base del edificio no excede de 1.5 y la altura del edificio no es mayor de 13 m.”

Adicionalmente en el capítulo 7 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTCS) dice que se tienen que cumplir los incisos anteriores y además para construcciones del grupo B se utilizan los coeficientes de la tabla 3.1, estos valores se incrementarán un 50% cuando se trate de una construcción del tipo A.

Zona	Muros de concreto o de mampostería de piezas macizas			Muros de mampostería de piezas huecas		
	Altura de construcción, m			Altura de construcción, m		
	Menor de 4	Entre 4 y 7	Entre 7 y 13	Menor de 4	Entre 4 y 7	Entre 7 y 13
I	0.07	0.08	0.08	0.10	0.11	0.11
II y III	0.13	0.16	0.19	0.15	0.19	0.23

Tabla 3.1. Coeficientes sísmicos reducidos para el método simplificado, correspondientes a estructuras del grupo B.
Fuente: NTCM - 2004.

El método simplificado se utiliza para analizar sísmicamente estructuras que tengan pequeña altura y que estén a base de muros de carga, generalmente de mampostería.

Este método desprecia los desplazamientos horizontales, las torsiones y los momentos de volteo.

Lo que busca el método básicamente es revisar que la suma de la resistencia por cortante de todos los muros de cada nivel sea mayor que la carga sísmica actuante.

Para la aplicación de éste método según las NTC se tiene que la estructura debe satisfacer los siguientes requisitos.

1. Que al menos el 75% de las cargas verticales sean soportados por muros.
2. Deben existir muros perimetrales con una longitud mínima del 50% de la dimensión en planta de la construcción en cada dirección (Imagen 3.3).

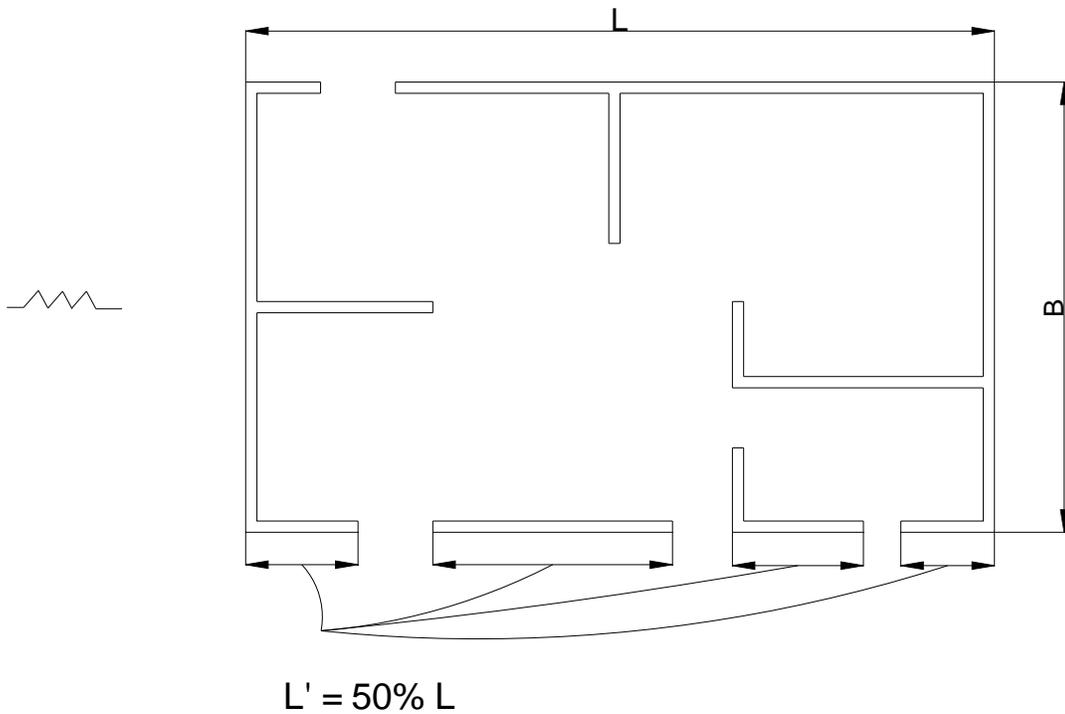


Imagen 3.3. Longitud mínima de muros.

3. La relación entre longitud y ancho de la estructura no debe exceder de dos.

$$\frac{L}{B} \leq 2$$

4. La relación entre la altura y la dimensión mínima en planta no debe exceder de 1.5.

$$\frac{H}{B} \leq 1.5$$

5. La altura de la estructura no debe exceder de 13 m.

3.2 Procedimiento de aplicación del método simplificado.

1. Verificar que cumpla con los requisitos de regularidad establecidos.
2. Determinar el grupo al que pertenece la estructura, el tipo de terreno de cimentación y la zona sísmica donde se ubica.

Para saber la zona sísmica donde se ubica se recurre a la zonificación de la imagen 3.4.



Imagen 3.4. Zonificación sísmica del Estado de Michoacán.
 Fuente: Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo. C.F.E.

3. Obtener del reglamento el coeficiente sísmico correspondiente.
4. Calcular el peso total de la estructura (usando la carga viva accidental).
5. Obtener el cortante sísmico.

$$V_s = C_s W_{tot}$$

Donde C_s es el coeficiente sísmico y W_{tot} es el peso total. C_s se obtiene de la tabla 3.2 y corresponde a estructuras del grupo B.

Zona sísmica	Tipo de terreno	Muros de piezas macizas o Diafragmas de madera contrachapada.			Muros de piezas huecas o Diafragmas de duelas de madera.		
		H<4 (m)	4≤H≤7 (m)	7<H≤13 (m)	H<4 (m)	4≤H≤7 (m)	7<H≤13 (m)
A	I	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05
	II	0.06	0.07	0.08	0.07	0.09	0.11
	III	0.07	0.08	0.1	0.08	0.1	0.13
B	I	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09
	II	0.13	0.15	0.18	0.15	0.18	0.22
	III	0.13	0.16	0.19	0.15	0.19	0.23
C	I	0.18	0.18	0.18	0.24	0.24	0.24
	II	0.32	0.32	0.32	0.43	0.43	0.43
	III	0.32	0.32	0.32	0.43	0.43	0.43
D	I	0.25	0.25	0.25	0.33	0.33	0.33
	II	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57
	III	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57

Tabla 3.2. Coeficientes sísmicos reducidos para el método simplificado, correspondientes a estructuras del grupo B.

Fuente: Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo. C.F.E.

6. Obtener el cortante último.

$$V_u = F_c V_s$$

Donde F_c es un factor de carga.

7. Calcular el cortante resistente de los muros de mampostería en cada dirección.

$$V_{mRx} = F_R [0.5V_m^* A_{Tx} + 0.3P_x]$$

$$V_{mRy} = F_R [0.5V_m^* A_{Ty} + 0.3P_y]$$

Donde:

F_R = Factor de reducción de resistencia.

$$F_R = \left\{ \begin{array}{l} 0.7 \rightarrow \text{Muros confinados} \\ 0.4 \rightarrow \text{Muros no confinados} \end{array} \right\}$$

V_m^* = Cortante resistente de la mampostería. (Tabla 3.1)

Pieza	Tipo de mortero	$V_m^*{}^1$, MPa (kg/cm ²)
Tabique de barro recocido ($f_p^* \geq 6$ MPa, 60 kg/cm ²)	I	0.35 (3.5)
	II y III	0.3 (3)
Tabique de barro con huecos verticales ($f_p^* \geq 12$ MPa, 120 kg/cm ²)	I	0.3 (3)
	II y III	0.2 (2)
Bloque de concreto (pesado ²) ($f_p^* \geq 10$ MPa, 100 kg/cm ²)	I	0.35 (3.5)
	II y III	0.25 (2.5)
Tabique de concreto (tabicón) ($f_p^* \geq 10$ MPa, 100 kg/cm ²)	I	0.3 (3)
	II y III	0.2 (2)

¹ Cuando el valor de la tabla sea mayor que $0.25\sqrt{f_m^*}$, en MPa ($0.8\sqrt{f_m^*}$, en kg/cm²) se tomará este último valor como V_m^* .

² Con peso volumétrico neto, en estado seco, no menor que 20 kN/m³ (2 000 kg/m³).

Tabla 3.3. Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería, sobre área bruta.

Fuente: NTCS - 2004.

$$A_T = t \cdot L \cdot F_{AE}$$

t = Espesor del muro.

L = Longitud del muro.

F_{AE} = Factor de reducción por esbeltez.

$$F_{AE} = \left\{ \begin{array}{l} 1.0 \text{ si } \frac{H}{L} < 1.33 \\ \left(1.33 \frac{L}{H}\right)^2 \text{ si } \frac{H}{L} > 1.33 \end{array} \right\}$$

P_x = Carga axial que reciben los muros en dirección x.

P_y = Carga axial que reciben los muros en dirección y.

$$P_x = \frac{L_x}{L} W_{tot} \qquad P_y = \frac{L_y}{L} W_{tot}$$

L_x y L_y = Longitud de los muros en dirección “x” y “y”, respectivamente.

8. Comparar V_u contra V_{mR} .

Se debe cumplir que:

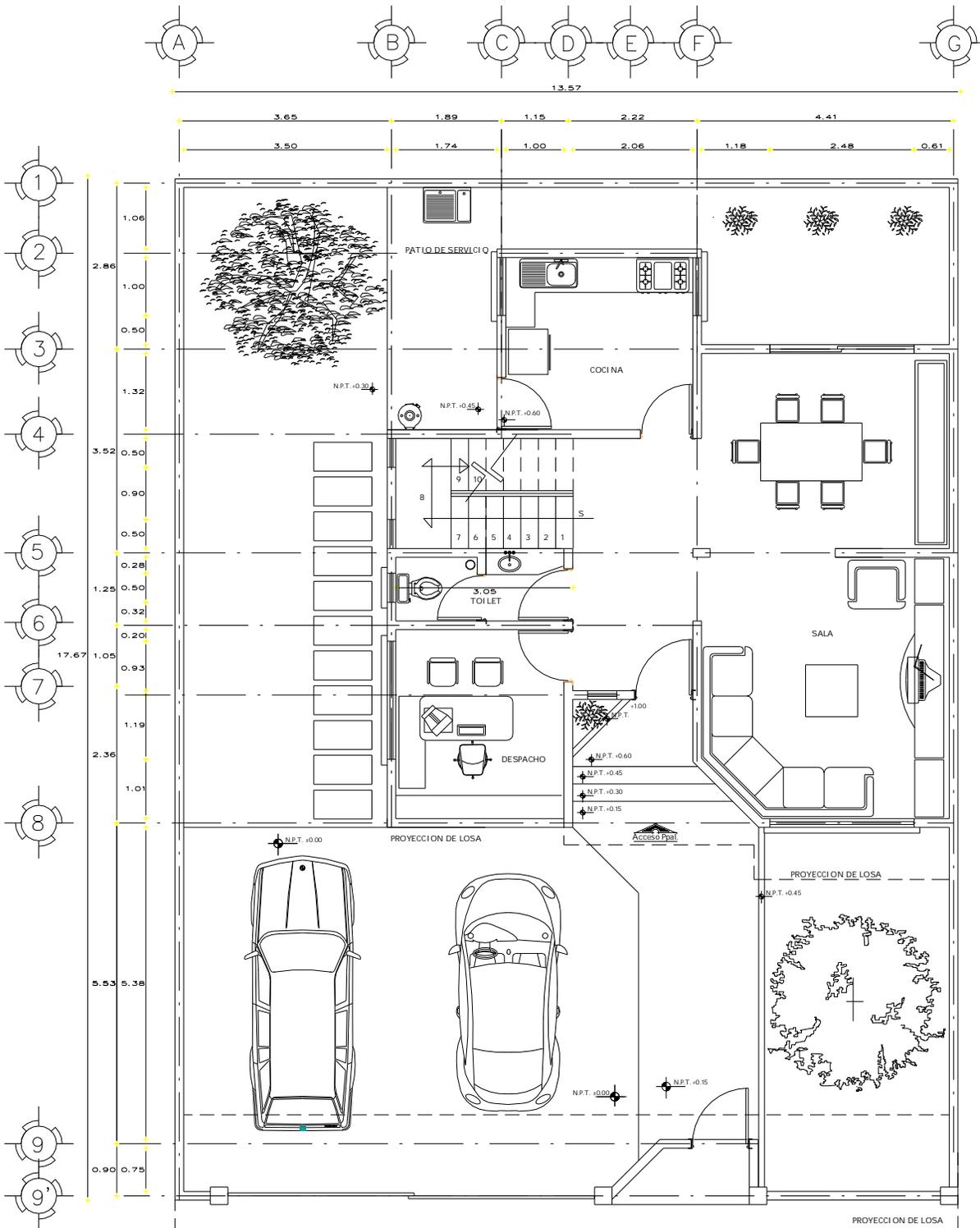
$$V_{mRx} \geq V_u$$

$$V_{mRy} \geq V_u$$

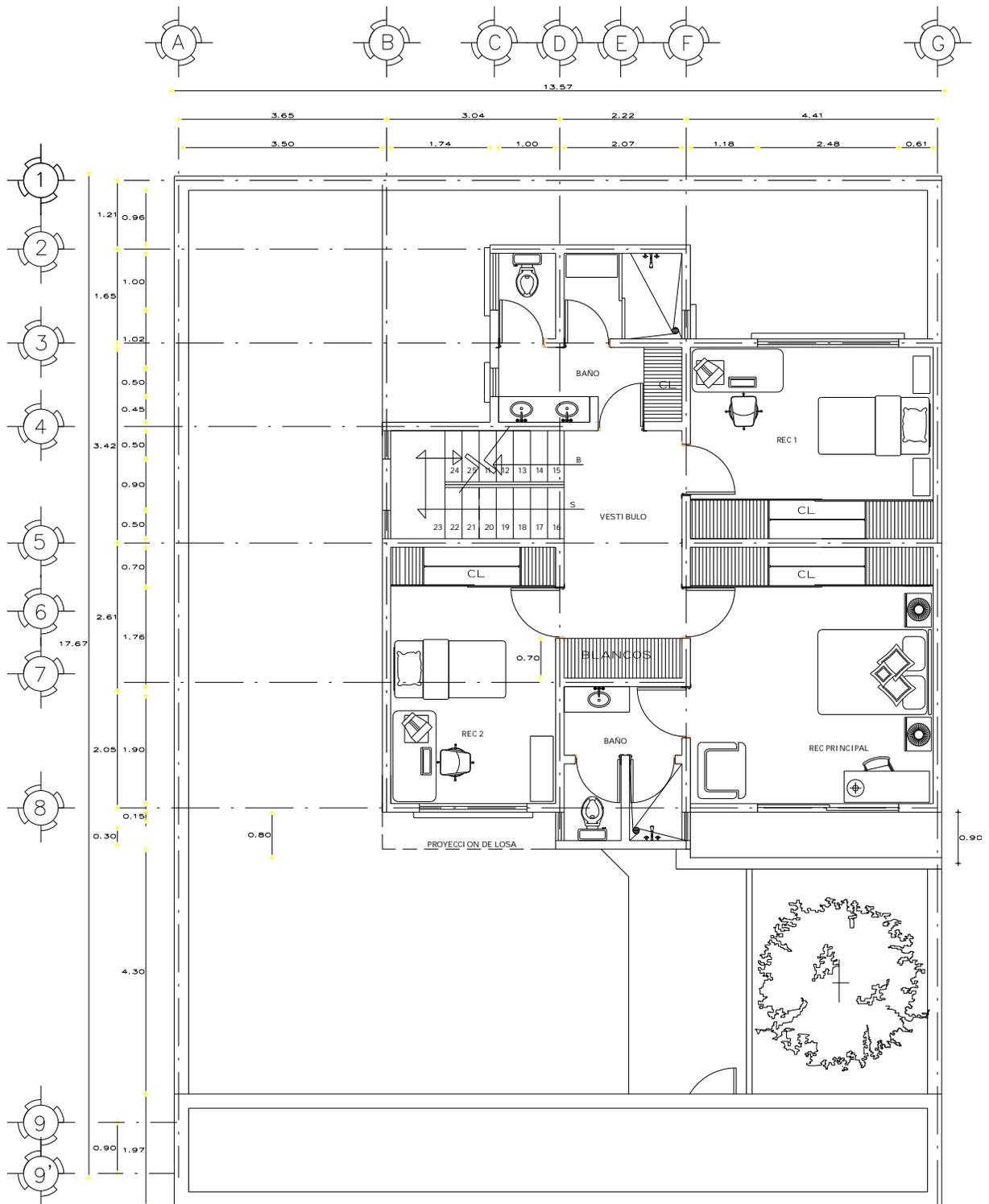
de no ser así los muros no soportan el sismo y se presentarán fallas cuando esto ocurra, por lo que se deben reforzar los muros para incrementar su resistencia.

3.3 Análisis sísmico de una casa habitación.

Para entender mejor cómo realizar un análisis sísmico se usa el siguiente ejemplo, considerando una casa habitación de dos niveles con una altura total de 5.4 m y las dimensiones que se muestran en el plano 3.1 y 3.2, se considera una estructura del grupo B, tipo de terreno I y zona sísmica C, lo cual corresponde a un coeficiente sísmico C_s igual a 0.18 de acuerdo a la tabla 3.2.



Plano 3.1. Casa Habitación, planta baja.
Fuente: www.bibliocad.com.



Plano 3.2. Casa Habitación, planta alta.
Fuente: www.bibliocad.com.

Análisis sísmico simplificado

Datos:

B = 9.82 m	Grupo = B	Área losa azotea = 97.9243 m ²
H = 6 m	Terreno = I	Área losa entrepiso = 88.9549 m ²
L = 9.93 m	Zona sis. = B	Long. Muros p. alta = 59.64 m
L' = 8.96 m	Cs = 0.07	Long. Muros p. baja = 45.02 m
H1 = 3 m	H2 = 3 m	¿Muro confinado? Si

Revisar requisitos:

- 1 Se cumple pues el 100 % de las cargas bajan por los muros.
- 2 Se cumple pues más del 50 % del perímetro tiene muros.
- 3 Se cumple
- 4 Se cumple
- 5 Se cumple

Peso total de la estructura

Wazotea =	0.691 t/m ²
Wentrepiso =	0.483 t/m ²
Wmuro =	0.225 t/m ²

	Área / Long. m ² / m	W t/m ²	W _{TOTAL} Ton.
Área losa azotea =	97.9243	0.691	67.666
Área losa entrepiso =	88.9549	0.483	42.965
Long. Muros p. alta =	59.64	0.675	40.257
Long. Muros p. baja =	45.02	0.675	30.389
		Σ =	181.276

Obtener el cortante sísmico

$$V_s = C_s W_{TOTAL}$$

$$V_s = 12.689 \text{ Ton.}$$

Obtener el cortante último

$$V_u = F_c V_s$$

$$V_u = 13.958 \text{ Ton.}$$

Obtener el cortante resistente $F_R = 0.7$ $V_m^* : 3 \text{ kg/cm}^2$

Sentido X					
Muro	Longitud	Espesor	F_{AE}	Área equivalente	A. Real
	cm	cm		cm ²	cm ²
2	352	12	1	4224.00	4224
3	209	12	0.858525788	2153.18	2508
4	436	12	1	5232.00	5232
5	561	12	1	6732.00	6732
6	320	12	1	3840.00	3840
7	121	12	0.287760721	417.83	1452
8	415	12	1	4980.00	4980
$\Sigma =$	2414			$\Sigma =$ 27579.01	28968

$$F_{AE \text{ prom}} = 0.8780409$$

Sentido Y					
Muro	Longitud	Espesor	F_{AE}	Área equivalente	A. Real
	cm	cm		cm ²	cm ²
B	332	12	1	3984.00	3984
C	122	12	0.292536751	428.27	1464
D	316	12	1	3792.00	3792
F	485	12	1	5820.00	5820
G	833	12	1	9996.00	9996
$\Sigma =$	2088			$\Sigma =$ 24020.27	25056

$$F_{AEy \text{ prom}} = 0.8585074$$

$$P_x = \frac{L_x}{L_T} W_{TOT} \quad P_x = 97201.521 \text{ kg} \quad P_y = \frac{L_y}{L_T} W_{TOT} \quad P_y = 84074.887 \text{ kg}$$

$$V_m R_x = F_R (0.5 V_m^* A_T + 0.3 P_x) \quad V_m R_x = 49370.28 \text{ kg}$$

$$V_m R_y = F_R (0.5 V_m^* A_T + 0.3 P_y) \quad V_m R_y = 42877.01 \text{ kg}$$

Comparación

Sentido x

$$V_m R_x > V_u$$

Si pasa

Sentido y

$$V_m R_y > V_u$$

Si pasa

Se puede observar de los cálculos que en este caso en ambos sentidos la casa resistirá el sismo de mayor magnitud esperado para la zona sísmica en la que se encuentra y de acuerdo al tipo de terreno en el que está ubicada. Esto se debe a que el cortante resistente (V_mR) en los sentidos “x” y “y” son mayores al cortante último provocado por el sismo esperado en esa zona.

De esta misma manera se realizarán los cálculos para una mayor cantidad de casas típicas, para poder obtener un patrón y realizar las curvas de densidad de muros para el Estado de Michoacán. Las cuales se clasificaron en Interés Social A y B e Interés Medio A y B. La clasificación A significa que tiene muros intermedios mayores de 1.5 m y la clasificación B significa que tiene muros intermedios menores de 1.5 m o con ventanas muy grandes entre el muro.

En las imágenes 3.5a, 3.5b, 3.5c y 3.5d se muestran los croquis de las casas analizadas.

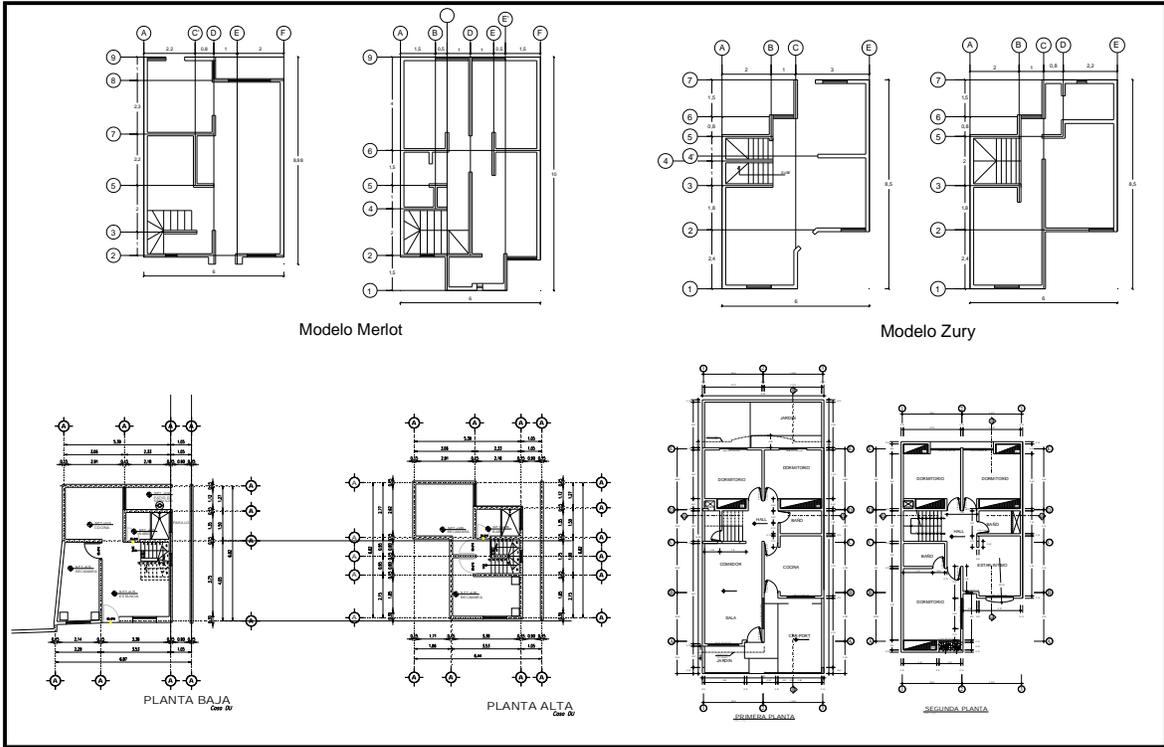


Imagen 3.5a. Casas interés Social Grupo A.

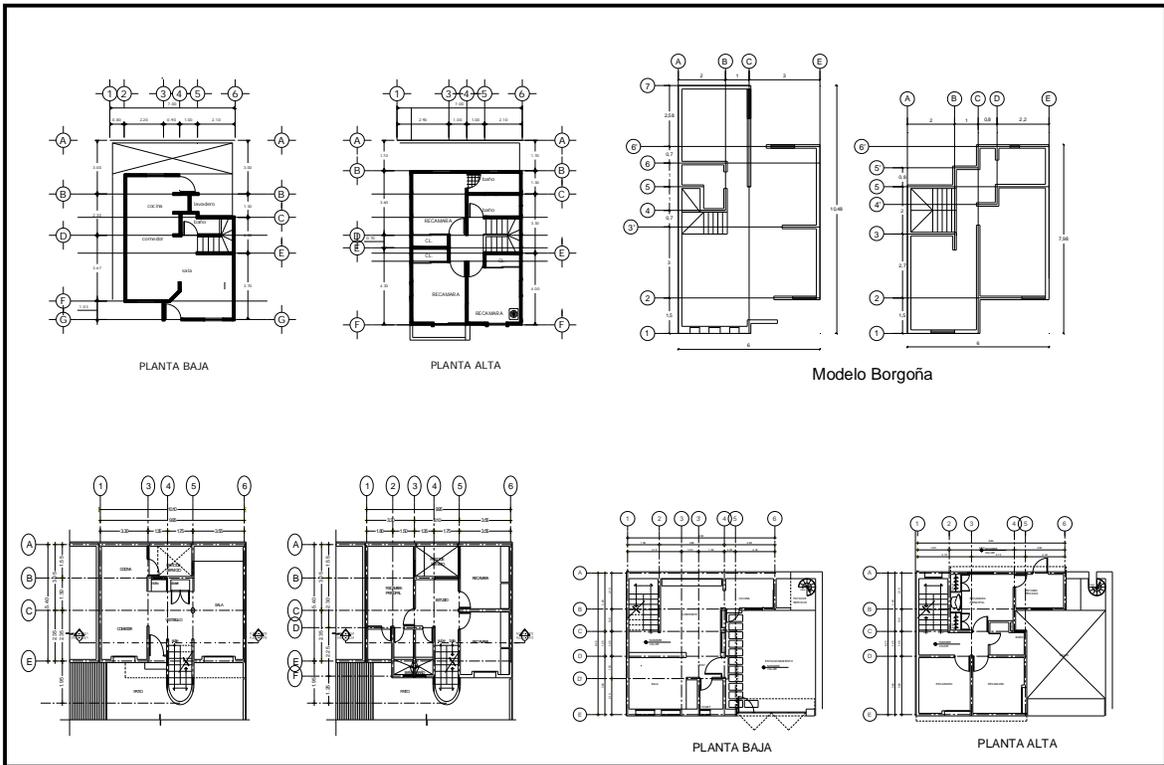


Imagen 3.5b. Casas interés Social Grupo B.

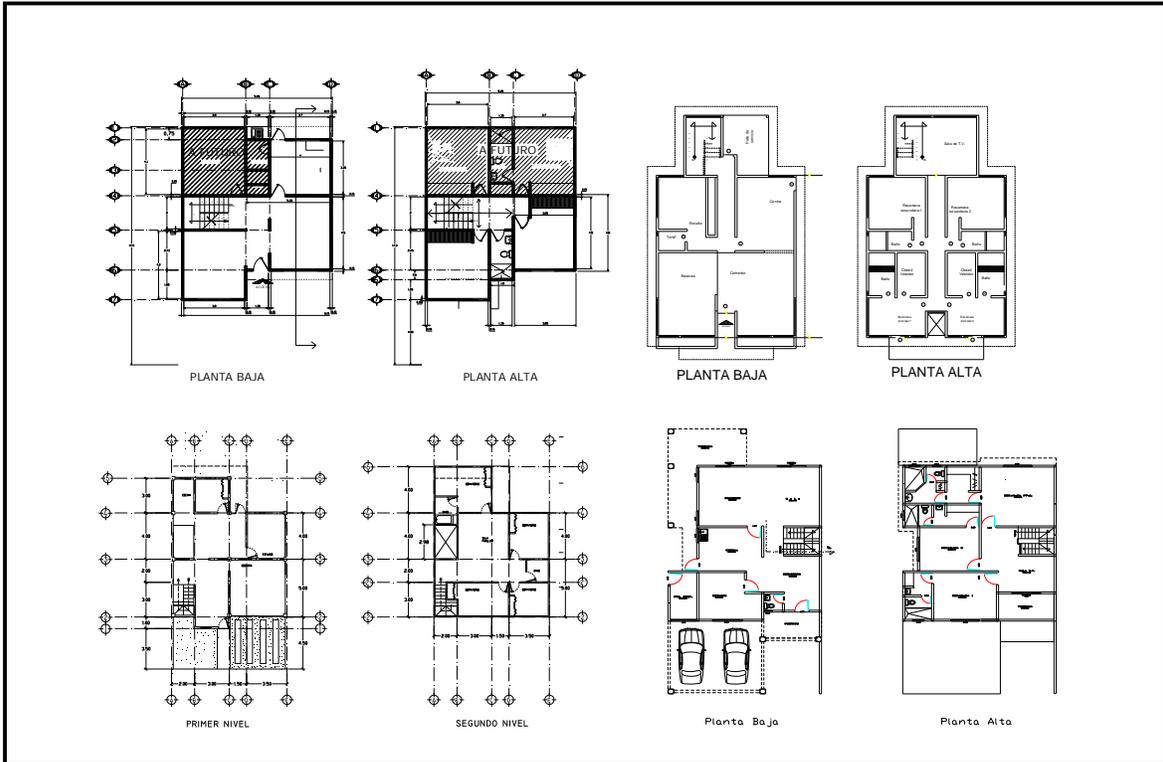


Imagen 3.5c. Casas interés Medio Grupo A.



Imagen 3.5d. Casas interés Medio Grupo B.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

En el presente capítulo se explica brevemente la metodología que se utiliza en la presente tesis. El proceso que se presentará a continuación tiene la finalidad de que el lector pueda tener una clara idea del proceso que hay que seguir para poder tener una buena investigación para un trabajo adecuado.

4.1 Método empleado.

Existen diversos procesos de investigación, según Mendieta (2005), un método es un medio para alcanzar un objetivo, lo primero que puede captar una persona de un concepto, es la noción de cantidad, ya que se comparan cantidades de las cuales resultan ideas de gran importancia o de valor económico y de capacidad.

En este proyecto se utiliza el **método matemático**, en el cual, según Mendieta (2005), se trabajan los números y las fórmulas, es un método que básicamente utiliza números que se relacionan entre sí constantemente, una gran diversidad de comprobaciones con las que se afirma o se niega algo, una gran variedad de hipótesis o teorías, por lo tanto es un método cuantitativo.

Además del método matemático se utiliza también el **método analítico**, el cual, según Jurado (2005), tiene su origen en la observación y el examen de los hechos, dicho método distingue los elementos de un fenómeno, con lo cual se pueden revisar ordenadamente y por separado, tal como lo hacen algunas ciencias.

El método analítico se debe de llevar a cabo en fases, las cuales consisten en observar, describir, descomponer los fenómenos observados, enumerar las partes descompuestas, ordenarlas y clasificarlas.

4.2 Enfoque de la investigación.

Existen dos tipos de enfoques de investigación, el **enfoque cuantitativo** y el **enfoque cualitativo**.

En el libro Metodología de la Investigación, Hernández (2004) señala que el enfoque cuantitativo es aquel en el que se pueden generalizar ampliamente los resultados, se tiene control sobre los fenómenos, así como un punto de vista de conteo y magnitudes de dichos fenómenos. También Hernández (2004) puntualiza que el enfoque cualitativo da profundidad a los datos, contextualiza el ambiente, los detalles y las experiencias únicas.

En este proceso de investigación se utilizará el enfoque cuantitativo por su flexibilidad para la interpretación y comprobación de resultados.

4.2.1 Alcance.

Sabiendo que la presente investigación es de carácter muy importante para el mejoramiento de la infraestructura del Estado de Michoacán, se prosigue a definir el alcance de estudio a efectuar.

Según Hernández (2004), existen 3 tipos de investigación: exploratorias, descriptivas, correlacionales y explicativas. Todos estos tipos dependen de la estrategia de investigación, los datos recolectados, así como la forma de adquirirlos, el muestreo y demás componentes del proceso de investigación.

En la presente tesis el propósito del investigador es describir los acontecimientos más importantes que ha habido en el fenómeno de los sismos, así como situaciones y hechos ocurridos durante dicho fenómeno, por lo tanto se puede considerar que la investigación que se realizará es de alcance descriptivo.

4.3 Diseño de la investigación.

Existen solo dos tipos de diseño en una investigación, experimental y no experimental. Como su nombre lo indica el experimental es aquel en el que se realizan pruebas para obtener resultados; y el no experimental es aquel donde no se realizan pruebas o se parte de algunas realizadas con anterioridad.

Conociendo entonces los dos tipos de diseño se sabe que este trabajo de investigación es de **Diseño No Experimental**, ya que no se realizan experimentos de ningún tipo, pero sí se parte de otros existentes con la finalidad de conocer el comportamiento del fenómeno en estudio.

4.4 Instrumentos de recopilación de datos.

Existen diversos tipos de recopilación de datos para una investigación, los más conocidos son la investigación documental y la investigación de campo.

En el presente trabajo se utiliza la investigación documental, ya que se refiere a libros de los cuales se obtiene información, así como también de instrumentos, en este caso particularmente en sismógrafos de los cuales se obtienen los datos necesarios para saber el comportamiento de la región en estudio.

Así mismo se hace uso de programas computacionales como instrumento de recopilación de datos, entre ellos se encuentra: Autocad, es un programa de dibujo técnico

mediante el cual se puede plasmar los croquis de las viviendas en estudio; Excel, es un programa de actividades matemáticas, el cual se utiliza para agilizar el proceso de cálculo mediante fórmulas. Estos programas son de vital importancia para la realización del presente trabajo, ya que agilizan y simplifican en más de un 70 % el trabajo realizado.

4.5 Descripción del proceso de investigación.

El presente estudio de investigación parte de los datos recopilados mediante sismógrafos a través del tiempo, con ellos se puede saber la probabilidad de esperar un sismo de iguales magnitudes. Sabiendo esto se verifica si existe algún proyecto o propuesta con el cual se puede prevenir desastres en viviendas.

Una vez determinado que no existe un proyecto similar se ve en la necesidad de realizar un trabajo con las características deseadas, partiendo de investigación documental para obtener información teórica en la cual se basará el proyecto.

Una vez obtenida la teoría se tiene la necesidad de establecer la metodología que se usará para definir el alcance y los instrumentos de recopilación de datos.

Teniendo claro lo anterior se comenzó la captura de los datos, en la cual la herramienta indispensable es el programa de cómputo denominado Autocad, en el cual se plasmaron las viviendas típicas de la región en estudio. Posteriormente se prosiguió a utilizar el programa Excel en el cual se realizaron todos los cálculos matemáticos correspondientes para poder realizar con el mismo programa las gráficas propuestas como **Curvas de Densidad de Muros para el Estado de Michoacán.**

Por lo tanto se determina que en el presente trabajo de investigación se pone en práctica el método científico en forma educativa, utilizando para este un método matemático analítico, en el cual se realiza un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental,

utilizando para ello instrumentos de recopilación y análisis de datos, manejo de programas computacionales tales como los denominados Autocad y Excel, así como investigación documental, teniendo una observación cuantitativa.

En el capítulo siguiente se analizará la información obtenida de la investigación documental, así como se realizarán los cálculos necesarios para conseguir los resultados requeridos que nos permitan realizar la propuesta deseada en este trabajo de investigación.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se realizará los cálculos necesarios para la realización de las Curvas de Densidad de Muros, dichos cálculos se aplicaron a las viviendas típicas de la región en estudio.

5.1 Curvas de Densidad de Muros.

La densidad de muros es un valor adimensional del cual se puede obtener información valiosa para evaluar la seguridad y la resistencia sísmica necesaria de una casa habitación.

Es la relación entre la superficie transversal de muros (en una dirección y nivel específico de la vivienda), y el área total construida del nivel. La densidad que se requiere en cada sentido para resistir adecuadamente las fuerzas sísmicas existentes se denomina densidad de muros óptima, y está basada en el método simplificado de diseño sísmico tal como se indica en las NTCM, del cual se hizo mención en el capítulo anterior.

De acuerdo a los datos observados al aplicar dicho método se puede ver que es muy eficiente y que al conjugarlos con los requisitos de mampostería de las NTCM se tiene un excelente comportamiento ante los sismos que han existido. Sin embargo, por cuestiones arquitectónicas y de espacio, una densidad de muros adecuada no siempre es aplicada.

Al garantizar los requisitos anteriormente vistos en el método simplificado se dice que la construcción es sismorresistente. La mayoría de los requisitos se cumplen al tener una adecuada densidad de muros en cada sentido. Sin embargo, los terrenos rectangulares típicos provocan que con mucha frecuencia la densidad de muros en el sentido paralelo a la fachada de la vivienda sea insuficiente.

Al utilizar una curva de densidad de muros, se puede evaluar de una manera fácil y rápida si la vivienda posee una cantidad adecuada de muros para resistir un sismo y sus efectos derivados. En la actualidad existen este tipo de curvas en varios estados del país y países de Latinoamérica, las cuales se emplean como un programa de protección civil con el cual se evitarán muchos accidentes y daños en viviendas evitando un análisis costosos.

5.2 Determinación de la curva de densidad de muros.

En el capítulo anterior se mostró como se realiza un análisis sísmico, el cual tiene que ser aplicado a las casas que se desea analizar, sin embargo se puede observar en ese ejemplo, que la casa resiste porque el cortante resistente (V_mR) en ambos sentido es mayor que el cortante último provocado por el sismo. Por lo tanto, quiere decir que la casa tiene mayor densidad de muros que la requerida para resistir el sismo. Entonces para poder determinar cuál sería la densidad de muros mínima requerida, se debe de buscar un valor de longitud de muros que satisfaga que el cortante resistente (V_mR) sea aproximadamente igual al cortante último.

Para realizar esto se utilizan herramientas de cálculo y se obtienen, para este mismo ejemplo (ver plano 3.1 y plano 3.2), los datos que se muestran a continuación.

Análisis sísmico simplificado

Datos:

B =	9.82 m	Grupo =	B	Área losa azotea =	97.9243 m ²
H =	6 m	Terreno =	I	Área losa entrepiso =	88.9549 m ²
L =	9.93 m	Zona sis. =	B	Long. Muros p. alta =	59.64 m
L' =	8.96 m	Cs =	0.07	Long. Muros p. baja =	26.63 m
H1 =	3 m	H2 =	3 m	¿Muro confinado?	Si

Revisar requisitos:

- 1 Se cumple pues el 100 % de las cargas bajan por los muros.
- 2 Se cumple pues más del 50 % del perímetro tiene muros.
- 3 Se cumple
- 4 Se cumple
- 5 Se cumple

Peso total de la estructura

Wazotea =	0.691 t/m ²
Wentrepiso =	0.483 t/m ²
Wmuro =	0.225 t/m ²

	Área / Long m ² / m	W t/m ²	W _{TOTAL} Ton.
Área losa azotea =	97.9243	0.691	67.666
Área losa entrepiso =	88.9549	0.483	42.965
Long. Muros p. alta =	59.64	0.675	40.257
Long. Muros p. baja =	26.63	0.675	17.975
		Σ =	168.863

Obtener el cortante sísmico

$$V_s = C_s W_{TOTAL}$$

$$V_s = 11.820 \text{ Ton.}$$

Obtener el cortante último

$$V_u = F_c V_s$$

$$V_u = 13.002 \text{ Ton.}$$

Obtener el cortante resistente $F_R = 0.7$ $V_m^* = 3 \text{ kg/cm}^2$

Sentido X					
Muro	Longitud	Espesor	F_{AE}	Área equivalente	A. Real
	cm	cm		cm ²	cm ²
2	227	12	1	2724.00	2724
6	227	12	1	2724.00	2724
7	121	12	0.287760721	417.83	1452

$\Sigma = 575$ $\Sigma = 5865.83$ $\Sigma = 6900$

$$F_{AE\text{ prom}} = 0.7625869$$

Sentido Y					
Muro	Longitud	Espesor	F_{AE}	Área equivalente	A. Real
	cm	cm		cm ²	cm ²
B	332	12	1	3984.00	3984
C	122	12	0.292536751	428.27	1464
D	316	12	1	3792.00	3792
F	485	12	1	5820.00	5820
G	833	12	1	9996.00	9996

$\Sigma = 2088$ $\Sigma = 24020.27$ $\Sigma = 25056$

$$F_{AEy \text{ prom}} = 0.8585074$$

$$P_x = \frac{L_x}{L_T} W_{TOT} \quad P_x = 36461.253 \text{ kg} \quad P_y = \frac{L_y}{L_T} W_{TOT} \quad P_y = 132401.91 \text{ kg}$$

$$V_m R_x = F_R (0.5 V_m^* A_T + 0.3 P_x) \quad V_m R_x = 13815.98 \text{ kg} \quad V_u = 13002.463 \text{ kg}$$

$$V_m R_y = F_R (0.5 V_m^* A_T + 0.3 P_y) \quad V_m R_y = 53025.69 \text{ kg}$$

Comparación

Sentido x

$$V_m R_x > V_u$$

Si pasa

Sentido y

$$V_m R_y > V_u$$

Si pasa

Se puede observar que el cortante resistente (V_mR) es un poco mayor que el cortante último, por lo cual la construcción sigue resistiendo el sismo con una densidad óptima de muros. Cabe mencionar que el análisis de dicha densidad óptima sólo se realiza en el sentido “x”, ya que por las casas típicas de la región de Michoacán los sentidos “y” suelen estar acompañados de muros perimetrales del tamaño del terreno lo cual casi siempre garantiza el buen comportamiento sísmico en ese sentido.

Esta densidad óptima se buscó en todas las casas analizadas y en cada tipo de terreno, con ella se pretende encontrar un nuevo peso total de la estructura, una nueva área equivalente y nueva área real, con las cuales se podrá obtener el peso promedio (W_{prom}), el FAE promedio y la densidad de muros que cada casa requiere para poder realizar con dichos datos las curvas de densidad de muros. Para ello se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$W_{prom} = \frac{W_{total}}{A_{total}} \qquad F_{AEprom} = \frac{A_{equiv}}{A_{real}} \qquad D. M. = \frac{A_{equiv}}{A_{PB}}$$

Donde:

- W: Peso;
- A: Área;
- F_{AE} : Factor de Reducción por Esbeltez;
- D. M.: Densidad de muros, y
- A_{PB} : Área planta baja.

Los datos obtenidos al realizar los cálculos con las longitudes óptimas para cada casa se muestran en las tablas siguientes:

Tipo	Casa	Datos ideales Terreno I Zona sísmica B										
		Wtotal	Atotal	Wprom	W Tipo	Aequiv	Areal	FAEx	FAExprom	Apb	D. M.	D. M. Prom
Interés Social A	Merlot	109.224	104.9978	0.832	0.828	0.3358	0.7081	0.4742	0.6502	49.5935	0.0068	0.0076
	Zury	79.732	73.76	0.865		0.24905	0.53279	0.4674		35.2703	0.0071	
	Casa 24	65.772	61.9937	0.849		0.3085	0.3085	1.0000		33.9159	0.0091	
	Casa 07	175.101	182.6664	0.767		0.6306	0.9567	0.6591		86.7113	0.0073	
Interés Social B	Casa 12	107.375	107.0279	0.803	0.798	0.4087	0.5598	0.7301	0.7108	53.0629	0.0077	0.0076
	Borgoña	92.091	88.2982	0.834		0.2831	0.7496	0.3777		48.7888	0.0058	
	Casa 30	108.617	114.6415	0.758		0.4302	0.4917	0.8749		55.5218	0.0077	
Interés Medio A	Casa 29	117.725	117.9875	0.798	1.075	0.5011	0.5822	0.8607	0.913	55.42	0.0090	0.007
	Casa 20	172.265	185.2608	1.116		0.6732	0.7298	0.9224		87.4533	0.0077	
	Casa 21	222.446	263.1141	1.015		0.7669	0.9067	0.8458		133.17	0.0058	
	Casa 13	204.853	225.398	1.091		0.8751	0.8751	1.0000		114.16	0.0077	
	Casa 02	236.954	265.3649	1.072		0.8373	0.8373	1.0000		124.3556	0.0067	
Interés Medio B	Casa 01	168.844	186.8792	1.084	1.133	0.5476	0.6865	0.7977	0.767	88.9549	0.0062	0.008
	Casa 40	217.024	221.282	1.177		0.8575	1.3032	0.6580		104.091	0.0082	
	Casa 09	262.713	281.306	1.121		1.1331	1.2117	0.9351		139.256	0.0081	
	Casa 08	152.36	164.495	1.111		0.6162	0.7077	0.8707		75.96	0.0081	
Casa 11	112.551	120.19	1.124	0.4075	0.6751	0.6036	64.52	0.0063				

Tabla 5.1. Datos ideales Terreno I Zona B.

Tipo	Casa	Datos Ideales Terreno II Zona sísmica B										
		Wtotal	Atotal	Wprom	W Tipo	Aequiv	Areal	FAEx	FAExprom	Apb	D. M.	D. M. Prom
Interés Social A	Merlot	112.696	104.9978	0.859	0.855	0.9972	1.3695	0.7281	0.8217	49.5935	0.0201	0.0203
	Zury	82.292	73.76	0.893		0.7368	1.0205	0.7220		35.2703	0.0209	
	Casa 24	67.898	61.9937	0.876		0.7134	0.7134	1.0000		33.9159	0.0210	
	Casa 07	180.959	182.6664	0.793		1.672	1.9981	0.8368		86.7113	0.0193	
Interés Social B	Casa 12	110.715	107.0279	0.828	0.824	1.0449	1.1959	0.8737	0.8520	53.0629	0.0197	0.0196
	Borgoña	95.199	88.2982	0.863		0.8749	1.3415	0.6522		48.7888	0.0179	
	Casa 30	111.889	114.6415	0.781		1.0534	1.1149	0.9448		55.5218	0.0190	
Interés Medio A	Casa 29	121.454	117.9875	0.824	1.107	1.2112	1.2923	0.9372	0.962	55.42	0.0219	0.017
	Casa 20	177.336	185.2608	1.149		1.6391	1.6957	0.9666		87.4533	0.0187	
	Casa 21	228.683	263.1141	1.043		1.9549	2.0947	0.9333		133.17	0.0147	
	Casa 13	211.062	225.398	1.124		2.0577	2.0577	1.0000		114.16	0.0180	
	Casa 02	243.792	265.3649	1.102		2.053	2.053	1.0000		124.3556	0.0165	
Interés Medio B	Casa 01	173.69	186.8792	1.115	1.222	1.4093	1.5482	0.9103	0.894	88.9549	0.0158	0.020
	Casa 40	224.119	221.282	1.215		2.2088	2.6546	0.8321		104.091	0.0212	
	Casa 09	270.5894	281.306	1.154		2.6927	2.7713	0.9716		139.256	0.0193	
	Casa 08	157.014	164.495	1.145		1.5027	1.5942	0.9426		75.96	0.0198	
Casa 11	137.57	120.19	1.374	1.2964	1.5641	0.8288	64.52	0.0201				

Tabla 5.2. Datos ideales Terreno II Zona B.

Tipo	Casa	Datos Ideales Terreno III Zona sísmica B										
		Wtotal	Atotal	Wprom	W Tipo	Aequiv	Areal	FAEx	FAExprom	Apb	D. M.	D. M. Prom
Interés Social A	Merlot	113.167	104.9978	0.862	0.859	1.0868	1.4591	0.7448	0.8329	49.5935	0.0219	0.0221
	Zury	82.642	73.76	0.896		0.8033	1.0871	0.7389		35.2703	0.0228	
	Casa 24	68.184	61.9937	0.880		0.768	0.768	1.0000		33.9159	0.0226	
	Casa 07	181.761	182.6664	0.796		1.8145	2.1406	0.8477		86.7113	0.0209	
Interés Social B	Casa 12	111.182	107.0279	0.831	0.827	1.1338	1.2848	0.8825	0.8611	53.0629	0.0214	0.0213
	Borgoña	95.616	88.2982	0.866		0.9545	1.421	0.6717		48.7888	0.0196	
	Casa 30	112.338	114.6415	0.784		1.139	1.2005	0.9488		55.5218	0.0205	
Interés Medio A	Casa 29	121.957	117.9875	0.827	1.111	1.3072	1.3883	0.9416	0.965	55.42	0.0236	0.018
	Casa 20	178.036	185.2608	1.153		1.7724	1.829	0.9691		87.4533	0.0203	
	Casa 21	229.553	263.1141	1.047		2.1206	2.2604	0.9382		133.17	0.0159	
	Casa 13	211.911	225.398	1.128		2.2194	2.2194	1.0000		114.16	0.0194	
	Casa 02	244.76	265.3649	1.107		2.2252	2.2252	1.0000		124.3556	0.0179	
Interés Medio B	Casa 01	174.382	186.8792	1.120	1.228	1.5323	1.6712	0.9169	0.901	88.9549	0.0172	0.022
	Casa 40	225.089	221.282	1.221		2.3936	2.8393	0.8430		104.091	0.0230	
	Casa 09	271.976	281.306	1.160		2.8975	2.9761	0.9736		139.256	0.0208	
	Casa 08	157.649	164.495	1.150		1.6237	1.7151	0.9467		75.96	0.0214	
Casa 11	138.14	120.19	1.379	1.4049	1.6726	0.8399	64.52	0.0218				

Tabla 5.3. Datos ideales Terreno III Zona B.

Tipo	Casa	Datos ideales Terreno I Zona sísmica C										
		Wtotal	Atotal	Wprom	W Tipo	Aequiv	Areal	FAEx	FAExprom	Apb	D. M.	D. M. Prom
Interés Social A	Merlot	114.137	104.9978	0.870	0.866	1.2717	1.644	0.7735	0.8498	49.5935	0.0256	0.0256
	Zury	83.354	73.76	0.904		0.929	1.2227	0.7598		35.2703	0.0263	
	Casa 24	68.774	61.9937	0.887		0.8804	0.8804	1.0000		33.9159	0.0260	
	Casa 07	183.406	182.6664	0.803		2.107	2.4331	0.8660		86.7113	0.0243	
Interés Social B	Casa 12	112.116	107.0279	0.838	0.834	1.3117	1.4628	0.8967	0.8766	53.0629	0.0247	0.0246
	Borgoña	96.471	88.2982	0.874		1.1174	1.5839	0.7055		48.7888	0.0229	
	Casa 30	113.264	114.6415	0.790		1.3153	1.3768	0.9553		55.5218	0.0237	
Interés Medio A	Casa 29	122.991	117.9875	0.834	1.120	1.5041	1.5852	0.9488	0.970	55.42	0.0271	0.021
	Casa 20	179.48	185.2608	1.163		2.0473	2.104	0.9731		87.4533	0.0234	
	Casa 21	231.353	263.1141	1.055		2.4635	2.6033	0.9463		133.17	0.0185	
	Casa 13	213.654	225.398	1.137		2.5515	2.5515	1.0000		114.16	0.0224	
	Casa 02	246.772	265.3649	1.116		2.5828	2.5828	1.0000		124.3556	0.0208	
Interés Medio B	Casa 01	176.069	186.8792	1.131	1.238	1.8322	1.9711	0.9295	0.913	88.9549	0.0206	0.025
	Casa 40	227.04	221.282	1.231		2.7653	3.211	0.8612		104.091	0.0266	
	Casa 09	274.27	281.306	1.170		3.3344	3.413	0.9770		139.256	0.0239	
	Casa 08	158.956	164.495	1.160		1.8727	1.9642	0.9534		75.96	0.0247	
Casa 11	139.32	120.19	1.391	1.6297	1.8974	0.8589	64.52	0.0253				

Tabla 5.4. Datos ideales Terreno I Zona C.

Tipo	Casa	Datos ideales Terreno II y III Zona sísmica C										
		Wtotal	Atotal	Wprom	W Tipo	Aequiv	Areal	FAEx	FAExprom	Apb	D. M.	D. M. Prom
Interés Social A	Merlot	121.949	104.9978	0.929	0.926	2.7595	3.1318	0.8811	0.9227	49.5935	0.0556	0.0543
	Zury	89.091	73.76	0.966		2.0316	2.3154	0.8774		35.2703	0.0576	
	Casa 24	73.479	61.9937	0.948		1.7766	1.7766	1.0000		33.9159	0.0524	
	Casa 07	196.802	182.6664	0.862		4.4885	4.8146	0.9323		86.7113	0.0518	
Interés Social B	Casa 12	119.681	107.0279	0.895	0.891	2.7527	2.9037	0.9480	0.9346	53.0629	0.0519	0.0517
	Borgoña	103.261	88.2982	0.936		2.4107	2.8772	0.8379		48.7888	0.0494	
	Casa 30	120.807	114.6415	0.843		2.7521	2.8136	0.9781		55.5218	0.0496	
Interés Medio A	Casa 29	131.34	117.9875	0.891		3.0943	3.1754	0.9745		55.42	0.0558	
	Casa 20	191.168	185.2608	1.238	1.195	4.2736	4.3303	0.9869	0.985	87.4533	0.0489	0.045
	Casa 21	247.457	263.1141	1.129		5.3404	5.4802	0.9745		133.17	0.0401	
	Casa 13	227.629	225.398	1.212		5.2133	5.2133	1.0000		114.16	0.0457	
	Casa 02	263.549	265.3649	1.192		5.5654	5.5654	1.0000		124.3556	0.0448	
Casa 01	187.633	186.8792	1.205	3.8879		4.0268	0.9655	88.9549		0.0437		
Interés Medio B	Casa 40	242.749	221.282	1.316	1.341	5.7575	6.2032	0.9281	0.956	104.091	0.0553	0.058
	Casa 09	310.254	281.306	1.323		10.1885	10.2671	0.9923		139.256	0.0732	
	Casa 08	169.596	164.495	1.237		3.8993	3.9908	0.9771		75.96	0.0513	
	Casa 11	148.813	120.19	1.486		3.4379	3.7056	0.9278		64.52	0.0533	

Tabla 5.5. Datos ideales Terreno II y III Zona C.

Tipo	Casa	Datos ideales Terreno I Zona sísmica D										
		Wtotal	Atotal	Wprom	W Tipo	Aequiv	Areal	FAEx	FAExprom	Apb	D. M.	D. M. Prom
Interés Social A	Merlot	117.816	104.9978	0.898	0.894	1.9723	2.3446	0.8412	0.8965	49.5935	0.0398	0.0391
	Zury	86.055	73.76	0.933		1.4534	1.7371	0.8367		35.2703	0.0412	
	Casa 24	70.998	61.9937	0.916		1.3039	1.3039	1.0000		33.9159	0.0384	
	Casa 07	189.687	182.6664	0.831		3.2236	3.5498	0.9081		86.7113	0.0372	
Interés Social B	Casa 12	115.668	107.0279	0.865	0.861	1.9883	2.1393	0.9294	0.9131	53.0629	0.0375	0.0374
	Borgoña	99.687	88.2982	0.903		1.7299	2.1964	0.7876		48.7888	0.0355	
	Casa 30	116.801	114.6415	0.815		1.989	2.0505	0.9700		55.5218	0.0358	
Interés Medio A	Casa 29	126.923	117.9875	0.861		2.253	2.3341	0.9653		55.42	0.0407	
	Casa 20	184.987	185.2608	1.198	1.155	3.0963	3.153	0.9820	0.980	87.4533	0.0354	0.032
	Casa 21	238.397	263.1141	1.087		3.8052	3.945	0.9646		133.17	0.0286	
	Casa 13	220.266	225.398	1.173		3.8109	3.8109	1.0000		114.16	0.0334	
	Casa 02	254.207	265.3649	1.150		3.9046	3.9046	1.0000		124.3556	0.0314	
Casa 01	181.464	186.8792	1.165	2.7913		2.9302	0.9526	88.9549		0.0314		
Interés Medio B	Casa 40	234.442	221.282	1.271	1.277	4.1751	4.6208	0.9035	0.940	104.091	0.0401	0.038
	Casa 09	282.865	281.306	1.207		4.9717	5.0503	0.9844		139.256	0.0357	
	Casa 08	163.955	164.495	1.196		2.8248	2.9162	0.9687		75.96	0.0372	
	Casa 11	143.801	120.19	1.436		2.4832	2.7509	0.9027		64.52	0.0385	

Tabla 5.6. Datos ideales Terreno I Zona D.

Tipo	Casa	Datos ideales terreno II y III Zona sísmica D										
		Wtotal	Atotal	Wprom	W Tipo	Aequiv	Areal	FAEx	FAExprom	Apb	D. M.	D. M. Prom
Interés Social A	Merlot	129.445	104.9978	0.986	0.984	4.1874	4.5597	0.9183	0.9470	49.5935	0.0844	0.0819
	Zury	94.564	73.76	1.026		3.0742	3.358	0.9155		35.2703	0.0872	
	Casa 24	77.966	61.9937	1.006		2.6313	2.6313	1.0000		33.9159	0.0776	
	Casa 07	209.831	182.6664	0.919		6.8048	7.1309	0.9543		86.7113	0.0785	
Interés Social B	Casa 12	126.977	107.0279	0.949	0.945	4.1424	4.2934	0.9648	0.9832	53.0629	0.0781	0.0720
	Borgoña	109.672	88.2982	0.994		2.5372	2.5372	1.0000		48.7888	0.0520	
	Casa 30	128.13	114.6415	0.894		4.1468	4.2083	0.9854		55.5218	0.0747	
	Casa 29	139.349	117.9875	0.945		4.6198	4.7009	0.9827		55.42	0.0834	
Interés Medio A	Casa 20	202.164	185.2608	1.309	1.268	6.3681	6.4248	0.9912	0.990	87.4533	0.0728	0.068
	Casa 21	261.356	263.1141	1.192		8.1783	8.3181	0.9832		133.17	0.0614	
	Casa 13	241.469	225.398	1.286		7.8496	7.8496	1.0000		114.16	0.0688	
	Casa 02	280.765	265.3649	1.270		8.6259	8.6259	1.0000		124.3556	0.0694	
	Casa 01	199.584	186.8792	1.282		6.0126	6.1515	0.9774		88.9549	0.0676	
Interés Medio B	Casa 40	257.629	221.282	1.397	1.402	8.5917	9.0374	0.9507	0.970	104.091	0.0825	0.078
	Casa 09	310.254	281.306	1.323		10.1885	10.2671	0.9923		139.256	0.0732	
	Casa 08	179.892	164.495	1.312		5.8605	5.9519	0.9846		75.96	0.0772	
	Casa 11	157.911	120.19	1.577		5.1709	5.4386	0.9508		64.52	0.0801	

Tabla 5.7. Datos ideales Terreno II y III Zona D.

Con las tablas anteriores se determina la Densidad de Muros de cada una de las casas analizadas y con ellas se puede obtener una Densidad de Muros promedio para cada tipo de casas, las cuales se utilizan para obtener las curvas de densidad de muros para el estado de Michoacán.

A continuación se muestran las Curvas de Densidad de Muros para el Estado de Michoacán en las imágenes 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4, mostrando en ellas la densidad de muros (D.M) mínima requerida en los diferentes tipos de condiciones para que la casa pueda resistir el sismo. Para determinar dicha densidad es necesario emplear las ecuaciones antes mencionadas junto con los coeficientes de F_{AEprom} proporcionados en las tablas 5.8, 5.9, 5.10 y 5.11 según sea el caso requerido.

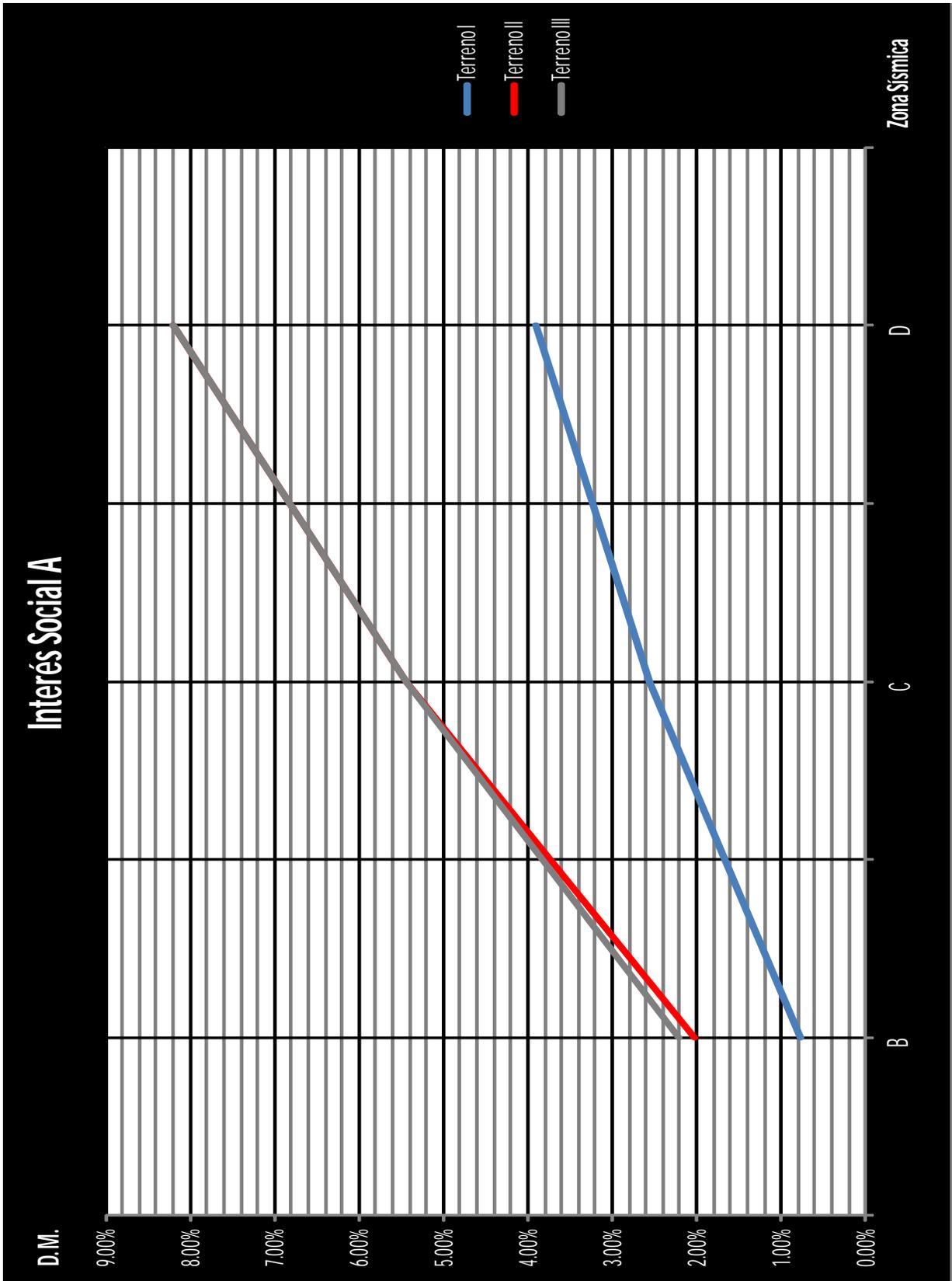


Imagen 5.1. Curvas de Densidad de Muros para casas de Interés Social Grupo A.

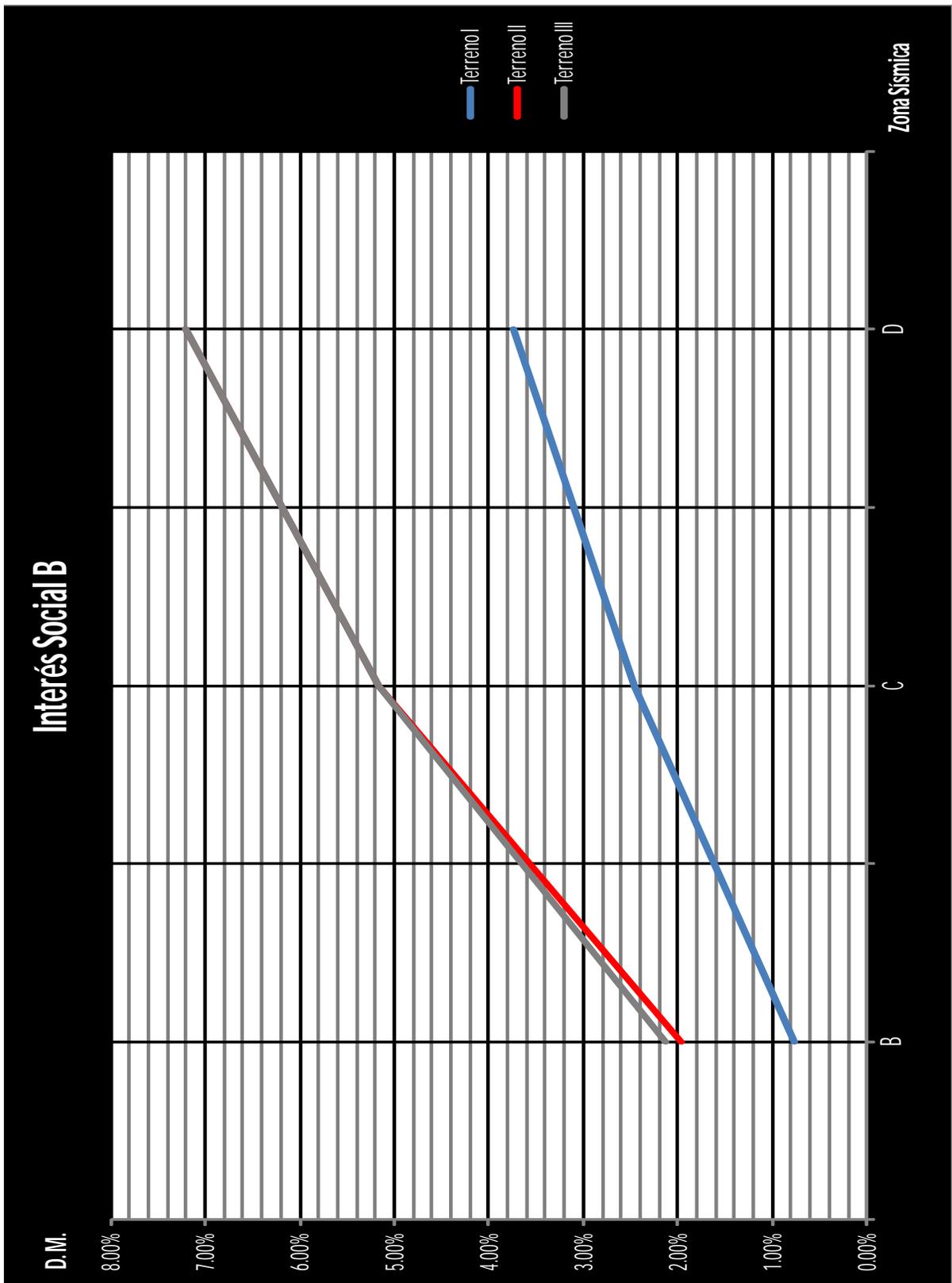


Imagen 5.2. Curvas de Densidad de Muros para casas de Interés Social Grupo B.

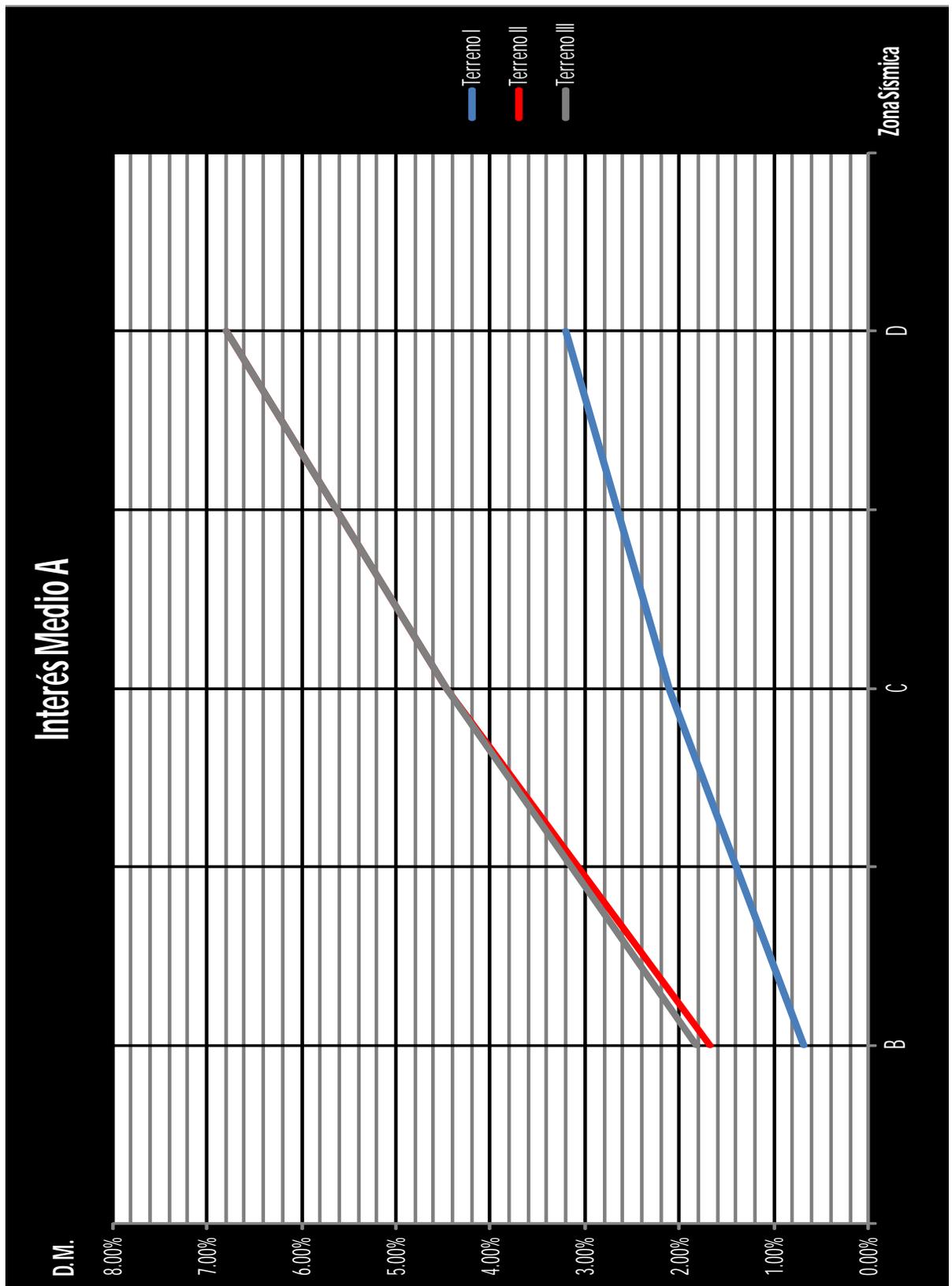


Imagen 5.3. Curvas de Densidad de Muros para casas de Interés Medio Grupo A.

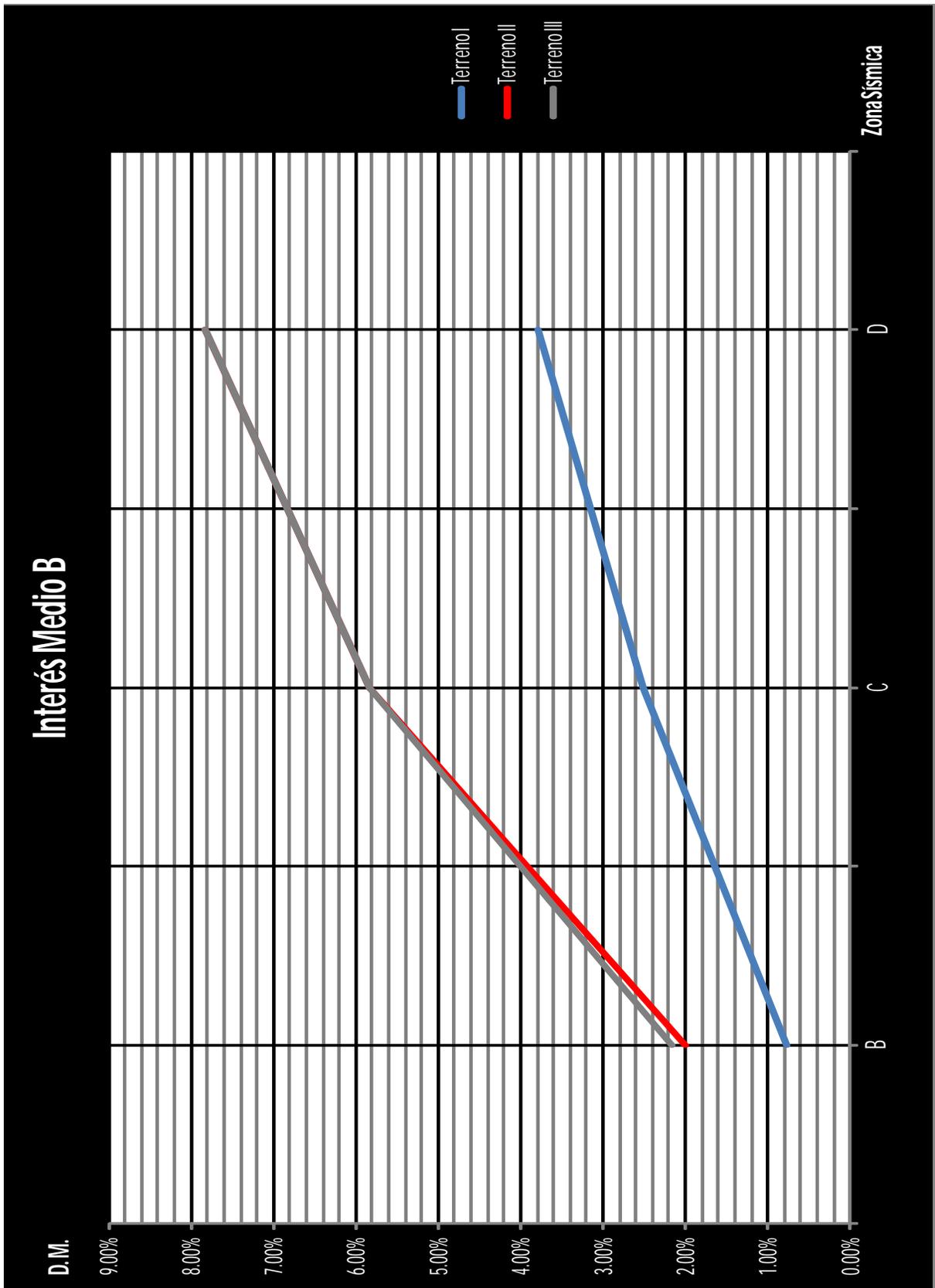


Imagen 5.4. Curvas de Densidad de Muros para casas de Interés Medio Grupo B.

Interés Social A		
Zona	Terreno	F _{AE} Prom
B	I	0.6502
	II	0.8217
	III	0.8329
C	I	0.8498
	II	0.9227
	III	0.9227
D	I	0.8965
	II	0.947
	III	0.947

Interés Social B		
Zona	Terreno	F _{AE} Prom
B	I	0.7108
	II	0.852
	III	0.8611
C	I	0.8766
	II	0.9346
	III	0.9346
D	I	0.9131
	II	0.9832
	III	0.9832

Tablas 5.8 y 5.9. Factor de Reducción por Esbeltez para casas de Interés Social.

Interés Medio A		
Zona	Terreno	F _{AE} Prom
B	I	0.9132
	II	0.9620
	III	0.9648
C	I	0.9698
	II	0.9854
	III	0.9854
D	I	0.9798
	II	0.9904
	III	0.9904

Interés Medio B		
Zona	Terreno	F _{AE} Prom
B	I	0.7669
	II	0.8938
	III	0.9008
C	I	0.9126
	II	0.9563
	III	0.9563
D	I	0.9398
	II	0.9696
	III	0.9696

Tablas 5.10 y 5.11. Factor de Reducción por Esbeltez para casas de Interés Medio.

5.3 Ejemplo de aplicación.

En la imagen 5.6 se muestra un croquis de la planta baja de una casa habitación de interés social grupo A. La cual se encuentra en una zona sísmica C, terreno I. Con la gráfica de densidad de muros para el Estado de Michoacán, interés social grupo A se puede determinar la densidad de muros requerida para la casa con las ubicaciones correspondientes tal y como se muestra en la imagen, ubicando primero la zona sísmica correspondiente, después el tipo de terreno y con esto determinando la densidad de muros que en este caso corresponde a 2.58% o bien 0.0258.

Adicionalmente se requiere saber el FAEprom requerido para dicha casa, el cual se encuentra en la tabla 5.8 de este capítulo y equivale a 0.8498.

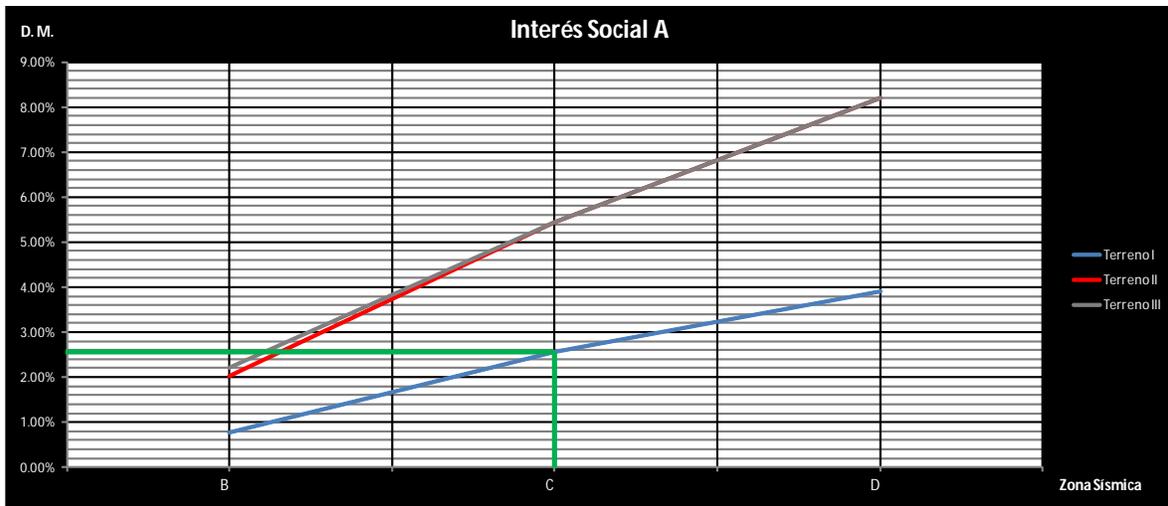
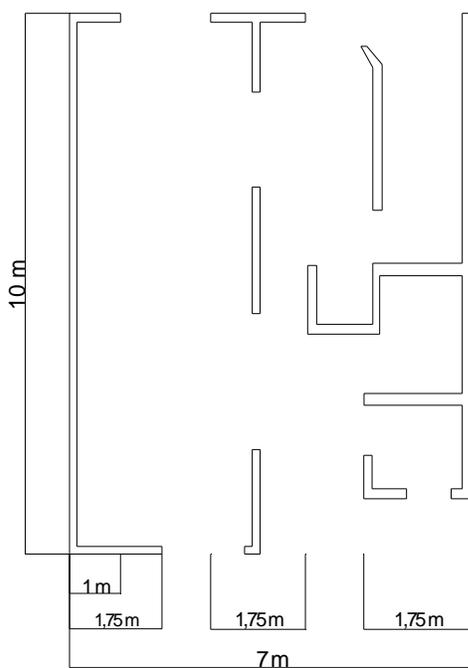


Imagen 5.5. Ejemplo de utilización de Curvas de Densidad de Muros para casas de interés Social Grupo A.



Los datos y la fórmula necesarios para poder determinar la longitud óptima de muros de dicha casa se proporcionan a continuación, dichos datos se deben de tomar de la planta baja de la vivienda por analizar.

Long. Muros PB en x = 10.25 m

Área PB = 66.5 m²

$$L_{req} = \frac{D.M. (Ap)}{F_{AEprom} * t}$$

$$L_{req} = \frac{0.0258 * (66.5)}{0.8498 * .12}$$

$$L_{req} = 16.82 \text{ m}$$

Imagen 5.6. Croquis de casa para ejemplo de utilización.

Donde:

D.M. : Densidad de Muros

A_p : Área de la Planta Baja

FAE_{prom} : Factor de Reducción por Esbeltez

t : Espesor del muro

L_{req} : Longitud de muros requerida

Se aprecia que la longitud de muros requerida excede la longitud real de muros, por lo tanto la casa no resistirá un sismo en dicha zona, entonces se recomienda incrementar la cantidad de muros, incrementar el espesor o bien reforzar los muros con malla electrosoldada.

CONCLUSIONES

Al realizar esta investigación se aprende que las estructuras hechas a base de muros de mampostería tienen bastantes variables con las cuales se puede modificar y mejorar su resistencia según sea el uso que se le va a dar a la estructura.

Además se observó que los sismos son capaces de destruir las estructuras a base de muros de mampostería cuando no están diseñadas de la manera en que se especifica en los reglamentos.

Se visualizó que la mayoría de las viviendas analizadas tienen posibles problemas ante un sismo de gran magnitud, ya que generalmente se pone más atención en el exterior y la arquitectura de la vivienda que en la parte estructural.

Se recomienda en la mayoría de las viviendas que pueden ser afectadas el aumento de los muros en el sentido analizado ya que generalmente es el más desfavorable ante un sismo.

Sin embargo es bien sabido que por cuestiones estéticas no siempre es posible aumentarlos por lo que se recomienda cambiar las ventanas de posición para dejar muros lo más largos posibles, así como adicionar acero de refuerzo en donde sea más desfavorable, siendo dicho acero una malla electrosoldada colocada en toda el área del muro ya que incrementa a más del doble su resistencia.

Así mismo se recomienda ampliamente el uso de las Curvas de Densidad de Muros para el Estado de Michoacán ya que con ellas se puede obtener un análisis sísmico rápido y confiable para los tipos de casas habitación más comunes. Es

importante realizar esta comparativa con las casas que se deseen construir ya que se ahorrará tiempo y dinero en un análisis y en una futura reparación.

Es importante saber en qué tipo de terreno y en qué zona sísmica se construirá, ya que de esta manera se puede realizar con mayor precisión una comparativa de las Curvas de Densidad de Muros para el Estado de Michoacán.

Además, cabe mencionar que cuando en un análisis con las Curvas de Densidad de Muros para el Estado de Michoacán, la longitud requerida sea muy aproximada a la real es necesario realizar un análisis más detallado ya que con dichas curvas solo se obtiene una buena aproximación del análisis sísmico simplificado.

BIBLIOGRAFÍA

A. Bolt Bruce. (1981)

Terremotos

Ed. Reverte

Arnan Simón Luis y Betancourt Suárez Max. (2004)

Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Actualizado)

Ed. Trillas

Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones Eléctricas (1993)

Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo

Ed. C. F. E.

Medina Martínez Francisco. (1997)

Sismicidad y volcanismo en México

Ed. Fondo de Cultura Económica México

Nava Alejandro. (1987)

Terremotos

Ed. Fondo de Cultura Económica México

Sociedad Mexicana de Ing. Estructural y Fundación ICA, México, D.F (2003)

Edificaciones de Mampostería para Vivienda.

Ed. Fundación ICA

Otras fuentes de información:

Arroyo Matus R., Salgado Rodríguez A., Gama García A., Tecuapa Martínez G., Domínguez Fernández A.

Construcción de Curvas de Densidad de Muros y Estrategias de Reducción de la Vulnerabilidad Estructural de Viviendas Populares de Mampostería en las Ciudades de Acapulco y Chilpancingo, Gro.

Flores L. E., Mendoza J. A. y Reyes C. Sociedad Mexicana de Ing. Estructural. (2004)

Ensaye de muros de mampostería con y sin refuerzo alrededor de la abertura

Flores L. E., Moisés Ríos y Carlos Reyes Salinas. Sociedad Mexicana de Ing. Estructural. (2004)

Rehabilitación con malla y mortero de muros de mampostería con aberturas.

<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/datosgeogra/basicos/geologia1/afectados/afectados.cfm?c=517>

<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/datosgeogra/basicos/geologia1/sismos/sismos.cfm?c=516>

http://mx.kalipedia.com/kalipediamedia/geografia/media/200805/07/geomexico/20080507klpgeogmx_8_Ees_SCO.png

http://www.ssn.unam.mx/website/jsp/region_sismica_mx.jsp

<http://www.ssn.unam.mx/website/jsp/Cuaderno1/ch2.html>

http://www.geos.ed.ac.uk/homes/s9535097/world_poster.gif

<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/datosgeogra/basicos/geologia1/placas/placastectonicas.cfm?s=geo&c=515>

<http://eldiariodepj.wordpress.com/tag/terremotos/>

http://www.funvisis.org.ve/glosario_.php

http://es.wikipedia.org/wiki/Tect%C3%B3nica_de_placas

<http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/geologiageneral/ggcap01d.htm>

<http://www.ssn.unam.mx/website/jsp/Sismo85/sismo85-idx.htm>

<http://www.uca.edu.sv/investigacion/terremoto/modulo3/analisisregistros/sld019.htm>

<http://www.ssn.unam.mx/website/html/SSN/instrumentacion3.html>

<http://ssn.dgf.uchile.cl/informe/que.html>

http://www.digesa.minsa.gob.pe/desastre/img/escala_mercalli.jpg

<http://www.funvisis.org.ve/>

http://es.wikipedia.org/wiki/Onda_s%C3%ADsmica