



UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela de Ingeniería Civil

PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO PARA LA CLASIFICACIÓN DE DAÑOS Y SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE REPARACIÓN PARA ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA EN MÉXICO.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Jorge Alberto Zavala Valdez.

Asesor: M.I. Enrique Omar Navarro Caballero.

Uruapan, Michoacán, 23 de febrero de 2012.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

ÍNDICE

Introducción.

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

Capítulo 1.- Mampostería.

1.1 Concepto de Mampostería	9
1.2 Historia de la mampostería.	9
1.3 Empleo de la Mampostería en México.	14
1.4 Tipos de mampostería	15
1.4.1 Piedras naturales	15
1.4.2 Piedras artificiales	17
1.4.2.1 Piedras artificiales de concreto	19
1.4.2.2 Piedras artificiales de barro	19

1.4.2.3 Propiedades mecánicas de las piedras artificiales	21
1.5 Pruebas en mampostería.	22
1.6 Morteros	24
1.6.1 Propiedades de los morteros.	25
1.7 Acero de refuerzo.	28
1.8 Concreto.	29

Capítulo 2.- Estructuración de las viviendas de mampostería en México.

2.1 Concepto de estructura	31
2.2 Cimentaciones	32
2.2.1 Zapatas.	34
2.2.2 Losas de cimentación.	36
2.3 Sistemas de piso.	37
2.3.1 Losa maciza	39
2.3.2 Losas aligeradas.	39
2.4 Muros de mampostería.	41
2.4.1 Tipos de muros.	42
2.4.1.1 Muros diafragma	42

2.4.1.2 Muros confinados	43
2.4.1.3 Muros reforzados	45
2.4.1.4 Muros no confinados ni reforzados.	46

Capítulo 3.- Evaluación y rehabilitación de muros de mampostería.

3.1 Principales tipos de daños en estructuras de mampostería	47
3.2 Evaluación de daños en estructuras de mampostería	49
3.2.1 Inspección visual	54
3.2.2 Martillo de rebote	55
3.2.3 Pruebas de extracción	56
3.2.4 Barrenado	56
3.2.5 Pruebas de penetración	56
3.2.6 Ensaye a corte en el plano de piezas y elementos	57
3.2.7 Medición de la adherencia mortero pieza.	58
3.2.8 Técnicas de transmisión de pulso	59
3.2.9 Métodos magnéticos	59
3.2.10 Emisión acústica	60
3.3 Técnicas de rehabilitación de muros de mampostería	60

3.3.1 Anclas	61
3.3.2 Reemplazo de piezas	62
3.3.3 Reparación de grietas	63
3.3.4 Inserción de barras de refuerzo	64
3.3.5 Grapado de grietas	65
3.3.6 Encamisado de muros con malas metálicas	66
3.3.7 Refuerzo con fibra de vidrio.	68
3.3.8 Refuerzo metálico en las juntas	69

Capítulo 4.- Metodología.

4.1 Método empleado	72
4.2 Enfoque de la investigación	73
4.2.1 Alcance de la investigación	74
4.3 Diseño de la investigación	75
4.4 Instrumentos de recopilación de datos	75
4.5 Descripción del proceso de investigación	76

Capítulo 5.- Análisis e interpretación de resultados.

5.1 Formato para la captura de datos.	77
---	----

5.1.1 Información General.	78
5.1.2 Aspectos geométricos.	78
5.1.3 Aspectos constructivos.	85
5.1.4 Aspectos estructurales.	85
5.1.5 Aspectos geográficos y geológicos.	88
5.2 Formato para la captura de datos.	91
5.2.1 Llenado del formato.	94
5.2.2 Daño leve (17 a 56).	95
5.2.3 Daño moderado (56 a 95).	95
5.2.4 Daño severo (95 a 134).	96
5.2.5 Daño muy grave (mayor de 134).	97
5.3 Comentarios finales.	98
Conclusión	99
Bibliografía	103

Anexos

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

A lo largo de la historia una de las necesidades más importantes del individuo ha sido, sin lugar a dudas el protegerse de las inclemencias de la naturaleza, el encontrar un refugio, un lugar cálido que brinde seguridad y protección.

Desde épocas remotas, el hombre ha buscado para ello, materiales accesibles que sean fáciles de utilizar y que proporcionen la mayor comodidad. Los tipos de materiales utilizados por las culturas de la antigüedad fueron determinados por las condiciones del terreno en donde se asentaron. De ahí la importancia histórica de la vivienda y sus materiales de edificación.

La mayoría de las antiguas construcciones de mampostería son espectaculares, tanto que hoy en día causan admiración. Los materiales con los cuales se elaboraron estas obras son diversos y sus características varían de acuerdo al tipo de elemento empleado, tanto estéticamente como en su capacidad estructural. Los materiales más utilizados en la realización de estructuras son arcilla, mármol, cantera, tabique, etc.

Las técnicas constructivas de mampostería así como el proceso de elaboración de materiales tales como tabique o elementos cementantes ha ido evolucionando a través de los siglos lo que permitió al hombre construir paredes que podían ser a la vez delgadas, más altas y más sólidas. Debido a estas modificaciones las construcciones son ahora más diversas.

En la biblioteca de la Universidad Don Vasco se encontraron algunas tesis relacionadas con el tema, las cuales son: “ALTERNATIVAS DE REFUERZO PARA MUROS DE MAMPOSTERÍA SUJETOS A CARGA SÍSMICA”, elaborada por Berenice Rizo García, en el año del 2008, la cual tiene como objetivo determinar el tipo de refuerzo necesario en la construcción de estructuras de mampostería que permita conservar la vida útil de la obra el mayor tiempo posible, en dicha investigación se llegó al objetivo descrito anteriormente.

Existe otra investigación con el tema: “ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL PARA EDIFICIO DE MAMPOSTERÍA”, esta investigación la realizó Rogelio Arquímedes Mercado Olivos, en el 2003, cuyo objetivo fue realizar el cálculo estructural de edificio de mampostería, en esta tesis se llegó a la conclusión de que un edificio tradicional de mampostería de tabique de barro rojo recocido, ubicado en la Ciudad de Uruapan no es capaz de soportar 4 niveles.

Planteamiento del problema.

En México la mampostería juega un papel muy importante en la fabricación de estructuras, ya que es un de las soluciones más convenientes en la construcción de viviendas económicas.

La creciente demanda de viviendas en México, asociado a la falta de recursos económicos, a la deficiente planeación del desarrollo de las ciudades y, en ocasiones, a la ignorancia de algunas personas, ha propiciado que en las grandes ciudades, la gente recurra a la autoconstrucción de viviendas.

Esta práctica que se realiza en muchas ocasiones con muy poco o nulo conocimiento del comportamiento estructural, dando como resultado construcciones con sistemas estructurales inadecuados que presentan un comportamiento deficiente ante un sismo y a las cargas que se derivan del funcionamiento propio de la vivienda. Por esta razón, es común encontrar viviendas estructuradas con muros de mampostería que presentan daños tales como agrietamientos, hundimientos, desplomes de muros o deflexiones excesivas en losas y trabes.

Siendo México un país que presenta una actividad sísmica importante y, dado que los muros son parte fundamental del sistema estructural, es importante saber determinar el estado de daño que presentan, para así poder estimar su resistencia y saber si requieren algún tipo de reparación o reforzamiento antes de que se presente una falla más grave.

Objetivos.

Se establecerá como objetivos para el proceso de este trabajo los siguientes.

Objetivo general:

Proponer un procedimiento para la clasificación de daños y la selección de técnicas de reparación para estructuras de mampostería.

Objetivos particulares:

- a) Definir los tipos de mampostería.
- b) Identificar qué es un mortero.
- c) Definir las deficiencias más comunes en la fabricación de muros.
- d) Conocer los daños más comunes en viviendas de mampostería.
- e) Inspeccionar y evaluar los daños en muros de mampostería.
- f) Señalar las técnicas de reparación de muros de mampostería.

Pregunta de investigación.

Puesto que los muros son una parte fundamental del sistema estructural de las viviendas y en ellos es muy común encontrar daños como agrietamientos, hundimientos, deflexiones excesivas en trabes y losas, es importante contestar la siguiente pregunta:

¿Cuál es la forma de evaluar el daño que presentan los muros, así como estimar su resistencia y cuál es la mejor solución para su rehabilitación?

Al dar respuesta a la anterior pregunta se resolverán las siguientes incógnitas que son:

- a) ¿Cuáles son los tipos de mampostería más comunes que existen?
- b) ¿Qué es un mortero?
- c) ¿Cuáles son las deficiencias más comunes en la fabricación de muros?
- d) ¿Cuáles son los daños más comunes en viviendas de mampostería?
- e) ¿Cómo inspeccionar y evaluar los daños en muros de mampostería?
- f) ¿Cuáles son las técnicas de reparación de muros de mampostería?

Justificación.

Como se mencionó anteriormente muchas de las viviendas de mampostería, presentan daños en sus muros, los cuales son una parte importante del funcionamiento estructural de la misma, por lo que surge la importancia de saber determinar el daño que se manifiesta en los muros, al igual que el de estimar su resistencia y poder determinar qué tipo de refuerzo se requiere antes de que aparezca un daño mayor.

Esta investigación aportará datos de gran interés e importancia en la Ingeniería Civil, ya que con la información recaudada se conocerán algunos de los problemas más comunes que ocurren en las viviendas de mampostería, y se podrá dar una solución a éstos.

Los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, también se verán beneficiados con este trabajo, pues les servirá para consultar información sobre este tema, así como también se verá beneficiada la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco, pues contará con un nuevo tema de tesis.

Marco de referencia.

México, oficialmente llamado Estados Unidos Mexicanos, es un país situado en la parte meridional de América del Norte. Limita al norte con los Estados Unidos de América, al sureste con Belice y Guatemala, al oriente con el golfo de México y el mar Caribe y al poniente con el océano Pacífico. Es el décimo cuarto país más extenso del mundo, con una superficie cercana a los 2 millones de km². Su población ronda los 112 millones de personas en 2010. La mayoría tiene como lengua materna el español, al que el Estado reconoce como lengua nacional junto a 67 lenguas indígenas.

Según la Organización Mundial del Turismo, México es el principal destino turístico de América Latina y uno de los 10 países más visitados del mundo. Esto se debe en gran medida a los 31 sitios culturales o naturales que son considerados por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad, y es en este sentido el primero en el continente y sexto en el mundo. Por el volumen neto de su producto interno bruto nominal (PIB), se considera a México la decimocuarta economía mundial, aunque entre 2001 y 2006 había sido la novena y la número 11 por PIB (PPA). Es la segunda economía de América Latina y la cuarta del continente. Sin embargo, la repartición de la riqueza es desigual, ya que en el país coexisten municipios con índices de desarrollo humano similares a naciones altamente desarrolladas como Alemania o tan pobres como Burundi. México también es uno de los países con mayor diversidad de climas en el mundo, considerado uno de los 12 países megadiversos del planeta, siendo hogar del 10-

12% de la biodiversidad mundial y albergando a más de 12 mil especies endémicas.

Políticamente, México es una república democrática, representativa y federal compuesta por 32 entidades federativas. La sede del gobierno y los poderes de la unión es la Ciudad de México, cuyo territorio ha sido designado como distrito federal.

Por otro lado, en las costas mexicanas del océano pacífico se localizan las fronteras de las placas tectónicas de Norteamérica, del Pacífico, de Rivera y de cocos, que forman parte del denominado cinturón de fuego, que es donde se libera el 90% de la actividad sísmica del planeta.

Este hecho convierte a México en una zona altamente sísmica por lo que es importante que periódicamente se realicen inspecciones de seguridad de las estructuras para identificar aquellas que pueden ser vulnerables ante la ocurrencia de un temblor y evitar así que se repita una catástrofe como la ocurrida en el sismo de 1985.

CAPÍTULO 1

MAMPOSTERÍA

En el presente capítulo se estudia el concepto e historia de la mampostería, igualmente se estudiará el empleo de la misma, como los diferentes tipos y características de los materiales que la constituyen.

1.1.- Concepto de Mampostería.

Existen varias definiciones sobre la mampostería y una de ellas es la siguiente: “Se define como mampostería al conjunto de elementos pétreos naturales o artificiales (llamados piezas), unidos (junteados) por medio de un mortero con el fin de formar una estructura resistente” (Gallo, Espino y Olvera; 2005: 7)

Otra definición que se le podría dar a la mampostería, es que es un sistema tradicional de construcción que consiste en crear elementos, que se componen de piezas individuales, colocadas manualmente de acuerdo a un determinado orden y unidos por medio de un aglomerante o mortero.

1.2.- Historia de la mampostería.

Gallegos y Ramírez (2003), mencionan que es probable que la mampostería haya sido inventada por un nómada, cuando, al no encontrar un refugio natural para protegerse de las adversidades de la naturaleza, decidió apilar piedras para formar un lugar donde guarecerse. Sin embargo, como la transmisión

de técnicas o ideas era muy lenta o no ocurría, por lo cual seguramente tuvo que repetirse innumerables veces.

El proceso inmediato en el desarrollo de la mampostería debió ser la utilización del mortero de barro, el cual permitió no sólo apilar, sino acomodar o asentar con más facilidad, y a mayor altura, las piedras irregulares naturales. Este paso se dio, seguramente, cuando se comenzaron a integrar las primeras aldeas. La unidad de mampostería fabricada por el hombre a partir de una masa de barro secada al sol, para sustituir a la piedra natural, debió ocurrir en lugares donde esta última no podía encontrarse. El vestigio más antiguo se encontró realizando excavaciones arqueológicas en Jericó, en el Medio Oriente.

Los sumerios, considerados como iniciadores de la civilización y de la ingeniería, inventaron la ciudad, la irrigación, la escritura, los números, la rueda y el molde. Este último, constituido por un marco de madera elemental y rústico aún se emplea en algunos países. El molde es un avance sustantivo en la construcción de mampostería y en otras actividades, pues posibilita la producción rápida de unidades prácticamente iguales. Aquella masa de barro mezclada con paja a la cual se daba la forma de paralelepípedo recto colocándola a presión dentro de un molde de madera, para luego dejarla secar al sol, hizo posible la libertad de construcción y la arquitectura monumental.

Las culturas mesoamericanas lograron desarrollos sorprendentes en la construcción, cuyos vestigios son admirados y estudiados en la actualidad. Las creencias religiosas y la organización política y social les llevaron a concebir una

arquitectura monumental basada principalmente en las construcciones de mampostería con piezas naturales y artificiales.

Algunas culturas como la Maya y la Totonaca dominaron la tecnología del concreto de forma similar e independiente al hormigón de los romanos. El concreto lo utilizaron para construir losas de piso y de techo, muros de contención, muelles, pilas de puente, soportes y bóvedas. Es decir, desarrollaron formas estructurales variadas que aplicaron según sus necesidades y aspiraciones; se mencionan enseguida algunos casos específicos.

En Egipto, se prefirió para las grandes obras, la roca traída de las montañas a lo largo del Nilo. Calizas, areniscas, granitos, basaltos y alabastros fueron explotados en las canteras, allí los bloques eran desprendidos perforando agujeros en los que luego introducían cuñas metálicas. Una vez separados, estos bloques eran desbastados con ayuda de bolas y martillos de diorita para formar grandes monolitos que pesaban cientos de toneladas, como los usados en los núcleos de las pirámides o incluso tallados directamente en la forma de columnas, vigas y losas. Estas unidades de mampostería ciclópea eran asentadas con morteros de yeso y cal.

De acuerdo con Gallegos y Ramírez (2003), los romanos utilizaron piedra importada de las mejores canteras egipcias y mármol griego, en la mayoría de los casos emplearon la piedra de sus depósitos de caliza, travertino y tufa volcánica, y la tecnología sumeria de la mampostería de ladrillos de arcilla. A esta tecnología

aportaron una nueva técnica constructiva y la invención del mortero de cemento y del concreto.

Así, desarrollaron diferentes sistemas para la construcción de muros, las cuales eran más económicas y fáciles de levantar, particularmente empleando el nuevo mortero de cal al cual incorporaron una clase de polvo que por causas naturales produce resultados asombrosos. Esta sustancia, cuando es mezclada con cal o piedras, no solamente provee resistencias a construcciones, sino que cuando se construye pilares en el mar, endurece bajo el agua. El compuesto de las tres sustancias es lo que hoy llamamos concreto.

Después de Roma, el avance de la tecnología de la mampostería en Europa se detiene por varios siglos ya que se dejan de fabricar ladrillos, los morteros de cemento y el concreto, desaparecen, perdiéndose su tecnología, siendo rescatada 13 siglos después por Smeaton, el fundador de la ingeniería civil moderna, quien en 1756 reconoció la necesidad de usar en Inglaterra una mezcla de cal y puzolana italiana para la reconstrucción de partes de estructuras sumergidas o expuestas a la acción del mar.

Con la revolución industrial (siglo XVIII), se extendió la aplicación de la mampostería de ladrillos de arcilla en Inglaterra. La mampostería de ladrillo llega al nuevo mundo traída por los europeos, aunque como se mencionó ya había sido utilizada esta tecnología por los mayas.

Gallegos y Ramírez (2003), también mencionan que en 1796, se patenta el "cemento romano" que era, estrictamente hablando, una cal hidráulica. En 1824 se inventa y patenta el cemento portland. Entre 1820 y 1840, se inventa la máquina para extruir ladrillos de arcilla, se usa por primera vez mampostería reforzada, y se inventa el horno de producción continua. Entre 1850 y 1870 se inventa y patenta el bloque de concreto, el ladrillo sílico-calcáreo y el concreto armado.

Brunel, el famoso ingeniero británico, propuso en 1813 el refuerzo de una chimenea en construcción con mampostería reforzada con barras de hierro forjado. Sin embargo, fue con la construcción del túnel bajo el Támesis, en 1825, que aplicó por primera vez dicho material.

Entre los años 1889 - 1891 se construyó, en Chicago, el edificio Monadnock en el cual su diseñador empleó los criterios más modernos de la ingeniería alcanzados hasta ese momento que incluían la aplicación de fuerzas horizontales y la determinación. El edificio de muros de carga exteriores de mampostería simple consta de 16 pisos y de muros de 1.80 m de espesor en la base dando lugar a un área de ocupación de la planta por la estructura de 25% del área total. Este fue el último edificio alto de su clase en Chicago y es hoy un monumento histórico.

Por su parte, en algunos países latinoamericanos y europeos, ubicados en zonas con alto y moderado peligro sísmico, se ha popularizado con mucho éxito el empleo de multifamiliares de altura media de entre 5 a 6 pisos, de muros de carga de 120 a 240 mm de espesor, de mampostería reforzada con elementos

perimetrales de concreto reforzado (mampostería confinada) o de mampostería con refuerzo interior, diseñados y construidos con base a reglamentos propios que recogen las investigaciones y experiencias realizadas.

1.3.- Empleo de la Mampostería en México.

De acuerdo con Gallo, Espino y Olvera (2005), a pesar de que el empleo de la mampostería en edificaciones que se construyen en nuestro país es muy alto la metodología que se emplea y se recomienda en las normas oficiales, no reflejan el comportamiento real de ésta ya que utilizan factores de seguridad altos.

Según Vasconcelos y Sánchez (2003), las propiedades mecánicas de la mampostería son más variables y difíciles de predecir que las de otros materiales estructurales como el concreto reforzado o el acero. Esto es debido al poco control que se tiene sobre las propiedades de los materiales componentes y sobre los procedimientos de construcción empleados.

Así, el comportamiento estructural de la mampostería, ha sido objeto de una amplia gama de estudios experimentales y analíticos, que han dado como resultado la elaboración de normas para el control de calidad de los elementos que la constituyen así como para el diseño y construcción del producto compuesto.

Retomando a Gallo, Espino y Olvera (2005), actualmente la mampostería se emplea en la construcción de viviendas, tanto unifamiliares como multifamiliares y se ha encontrado que las estructuras más altas de este material son del orden de cinco niveles.

También se emplean en la construcción de muros de contención, así como en muros de ornamentación, divisorios y en la construcción de cimientos, chimeneas, etc.

Hoy en día, aún persiste el método construcción antiguo y lento de superposición de tabiques. Éste, sin embargo, tiene una amplia utilización por lo que la calidad de las obras depende del trabajo del obrero y de la efectividad de las uniones entre el mortero y los tabiques.

1.4.- Tipos de mampostería.

Gallo, Espino y Olvera (2005), dicen que la mampostería puede ser de piedras naturales, arcillas y/o concreto, y su presentación es diversa, por ejemplo al natural, en el caso de piedras, o en forma de tabiques y bloques, tanto macizos como huecos, en el caso de la arcilla y el concreto.

1.4.1.- Piedras naturales.

Según Villasante (2008), las piedras naturales son las que se encuentran en estado natural y que de acuerdo a su constitución se clasifican en areniscas, granitos y mármoles. Los usos a los que se destinan son diversos, permiten la realización de tanto de elementos estructurales como de no estructurales, por ejemplo elementos de fachadas y divisorios.

De acuerdo a Vasconcelos y Sánchez (2003), en México suelen distinguirse los siguientes tipos de mampostería de acuerdo con la forma en que ha sido labrada la piedra natural.

a) Mampostería de primera. La piedra se labra en paralelepípedos regulares con su cara expuesta de forma rectangular. Las unidades de piedra de este tipo reciben el nombre de sillares.

b) Mampostería de segunda. La piedra se labra en paralelepípedos de forma variable siguiendo la configuración natural con que llega de la cantera.

c) Mampostería de tercera. La piedra se utiliza con la forma irregular con que llega de la cantera, aunque procurando que la cara expuesta sea aproximadamente plana.

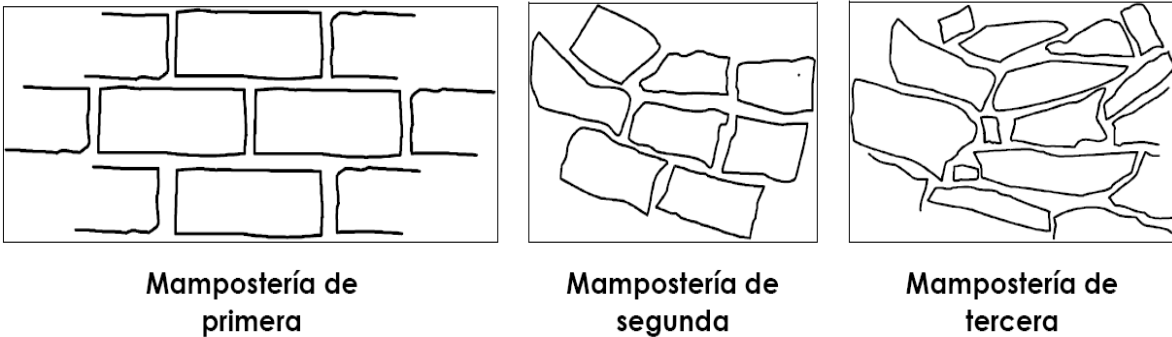


Figura 1.1 Tipos de mampostería de piedras naturales (Fuente: SMIE, 2003; 58).

A continuación se muestra una tabla con las características de las piedras más usadas en la construcción:

Piedra	Peso volumétrico seco (t/m ³)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Resistencia a tensión en flexión (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)*10 ³
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 1.1 Propiedades mecánicas de piedras naturales (Fuente: SMIE, 2003; 58)

1.4.2.- Piedras artificiales.

En la actualidad existe una gran variedad de piezas de mampostería que son utilizadas en la construcción, como menciona Vasconcelos y Sánchez (2003), las piedras artificiales son distintas entre sí en cuanto a la materia prima utilizada para su elaboración, como por las características geométricas de las piezas y por los procedimientos de fabricación empleados. El barro, el concreto, con agregados normales o ligeros, y la arena con cal, son los materiales más comunes.

Los procedimientos de construcción son muy variados, desde los artesanales como el cocido en horno para los tabiques comunes, hasta los industrializados para los bloques de concreto, y para los bloques huecos de barro, la forma es prismática pero con distintas relaciones entre las dimensiones.

Es recomendable que las piezas usadas en los elementos estructurales de mampostería cumplan los requisitos de calidad para cada material especificados en las Normas Mexicanas (NMX) cuya declaratoria de vigencia se publica en el

Diario Oficial de la Federación. Cuando algún reglamento de construcción local haga referencia a una Norma Mexicana, ésta será obligatoria en dicha localidad.

En particular deberán aplicarse las siguientes normas:

Norma	Pieza
NMX-C-006	Ladrillos, bloques cerámicos de barro, arcilla y/o similares.
NMX-C-010	Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones de concreto.
NMX-C-404-ONNCCE	Bloques, tabiques, ladrillos y tabicones para uso estructural

Tabla 1.2 Requisitos de calidad para la mampostería (fuente: SMIE, 2003; 60).

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM, 2005) proporcionan resistencias a compresión (f_m^*) y a cortante (v_m^*) para las mamposterías construidas con las siguientes piezas:

- a) Tabique de barro recocido (arcilla artesanal maciza), $f_p^* > 60 \text{ kg/cm}^2$;
- b) Tabique de barro con huecos verticales, $f_p^* > 120 \text{ kg/cm}^2$;
con relación área neta-bruta no menor de 0.5 (arcilla industrializada hueca).
- c) Bloque de concreto tipo pesado $f_p^* > 100 \text{ kg/cm}^2$;
con peso volumétrico neto, en estado seco, no menor que 2000 kg/m³.
- d) Tabique de concreto (tabicón), $f_p^* > 100 \text{ kg/cm}^2$
fabricado con arena sílica y peso volumétrico no menor de 1500 kg/m³.
- e) Piedras naturales (piedra braza, para cimientos de mampostería, muros u otros usos).

1.4.2.1.- Piedras artificiales de concreto.

Este material de acuerdo con Gallo, Espino y Olvera (2005), está constituido generalmente de un concreto a base de cemento portland, arena o grava fina, así como de mortero de cemento y arena.

Su calidad depende de los materiales que lo conforman y tiene una gran variedad de aplicaciones en la actualidad, ya que pueden ser empleados para la construcción de muros, como elementos decorativos o de división.

Estos bloques de concreto son por lo general de dimensiones mayores que los ladrillos cerámicos, son macizos o huecos y en su elaboración pueden ser fabricados de manera manual o con máquinas. Se pueden encontrar en una gran gama de tamaños y formas, tanto en piezas macizas o huecas, dependiendo de los fabricantes.

1.4.2.2.- Piedras artificiales de barro.

Gallo, Espino y Olvera (2005), mencionan que los tabiques y ladrillos son hechos mediante la cocción de arcillas naturales, previamente moldeadas o de materiales cerámicos.

“Tabique es toda pieza destinada a la construcción de muros y generalmente son de formas ortoédricas. Los tabiques son producto de la cocción de la arcilla y otros materiales”. (Gallo, Espino y Olvera; 2005: 9)

Uno de los materiales más antiguos empleados en la construcción, es el adobe que se forma de la mezcla de pastas de arcilla con arena y paja secada

simplemente al sol, otras de estos productos son el resultado de la mezcla de agua y varias clases de arcilla, sometida al fuego.

Villasante (2008) menciona que los materiales más comunes para la obtención de éstas piezas, es el barro recocido hecho a mano o prensado con máquina, pueden ser piezas macizas o huecas de secado natural u horneadas.

De acuerdo con Gallo, Espino y Olvera (2005), los ladrillos macizos son elementos que pueden tener algunas rebajas de profundidad para mejorar la adherencia de las piezas. Para considerarse macizo la, la pieza de mampostería debe contar con una área neta de por lo menos 75%, del área bruta y paredes exteriores que no tengan espesores menores de 20 mm. Estas piezas deben cumplir con ciertas características como son:

- a) Ser homogéneo.
- b) Estar bien moldeado y tener aristas vivas.
- c) Ser poroso sin exceso, para poder tomar el mortero.
- d) Tener buena sonoridad al ser golpeado.
- e) Poder ser cortado con facilidad.

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (2005), menciona que las piezas huecas de mampostería son aquellas que en su sección transversal más desfavorable, el área neta sea al menos del 50% del área bruta, sus paredes exteriores no deberán tener espesores menores de 15 mm. Para piezas que cuentan con dos o cuatro

celdas, el espesor mínimo de las paredes interiores no deberá ser menor de 13 mm y para piezas multiperforadas su espesor mínimo será de 7 mm.

1.4.2.3.- Propiedades mecánicas de las piedras artificiales.

De acuerdo con Vasconcelos y Sánchez (2003), el cálculo de la resistencia de las piezas artificiales, se realiza mediante el ensaye de una pieza. La forma irregular de las piezas impide muchas veces definir su resistencia real sobre el área neta del material. Por esto es usual definir la resistencia sobre el área bruta, es decir, el área dada por las dimensiones exteriores.

A continuación se muestra una tabla con las características mecánicas representativas de las piezas. Estos datos se obtuvieron en la década de los 70, y hoy en día no es muy común encontrar en la actualidad, 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
Tabique extruido macizo	150 - 400	11 - 26	1.66 - 2.20
	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	1.31 - 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 1.3 Propiedades mecánicas de piedras artificiales (Fuente: SMIE, 2003; 62)

1.5.- Pruebas en mampostería.

Existen varias maneras de determinar la resistencia de diseño de la mampostería a compresión, Villasante (2008), menciona las siguientes:

- a) A partir de la resistencia individual de las piezas y del mortero a emplearse.
- b) Ensayando pilas de por lo menos tres piezas sobrepuestas con una relación altura-espesor comprendida entre 2 y 5 ($2e < h < 5e$). Los ensayos se hacen a los 28 días y deben ensayarse por lo menos nueve pilas.

La resistencia de diseño se calculará de la siguiente manera:

$$f^*m = 0.6 fm \text{ sin control de calidad}$$

$$f^*m = 0.65 fm \text{ sin control estricto}$$

$$f^*m = 0.75 fm \text{ con control estricto}$$

fm = Promedio de las resistencias de las pilas con la corrección por esbeltez,

según la siguiente tabla:

Relación de esbeltez	2	3	4	5
Factor correctivo	0.77	0.91	1.00	1.05

Tabla 1.4 Factores de corrección por esbeltez (Fuente: Villasante, 2008; 171)

Gallo, Espino y Olvera (2005), dicen que la forma más común para determinar la resistencia al esfuerzo cortante, ν^* , de la mampostería es mediante el ensayo de muretes aproximadamente cuadrados, que contengan en cada hilada por lo menos una pieza y media, sometidos a fuerzas diagonales.

Las NTCM (2005), sugiere que se realice un mínimo de nueve ensayos a partir de los cuales se obtendrá el esfuerzo resistente en cada prueba, mediante la expresión:

$$v^* = \frac{P_R}{Db}$$

Donde :

v^* = esfuerzo cortante resistente de la mampostería empleada

P_R = esfuerzo diagonal resistente sobre murete

D = distancia diagonal en murete

b = espesor del murete

Una vez realizadas las pruebas, se determinará el valor del esfuerzo resistente, v^* , del lote de muretes, ensayando a partir de la siguiente expresión:

$$v^* = \frac{v}{1 + 2.5 C_v}$$

En el cual:

v = promedio de los esfuerzos resistentes de los muros ensayados

C_v = coeficiente de variación de los esfuerzos resistentes de los muretes ensayados, el que no se tomará menor que 0.20

Pieza	Tipos de mortero	Vm* ¹ (kg/cm ²)
Tabique de barro recocido f*p ≥ 60 kg/cm ²	I	3.5
	II y III	3
Tabique de barro con huecos verticales f*p ≥ 120 kg/cm ²	I	3
	II y III	2
Bloque de concreto (pesado) ² f*p ≥ 100 kg/cm ²	I	3.5
	II y III	2.5
Tabique de concreto (tabicón) f*p ≥ 100 kg/cm ²	I	3
	II y III	2

¹ cuando el valor de la tabla sea mayor que $0.8 \sqrt{f_m^*}$, en kg/cm²

² Con peso volumétrico neto, en estado seco, no menor que 2000 kg/m³

Tabla 1.5 Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería, sobre área bruta (Fuente, NTCM, 2005; 686)

1.6.- Morteros.

“Los morteros son mezclas plásticas aglomerantes que resultan de combinar arena y agua con un material cementante que puede ser cemento, cal, o una mezcla de estos materiales”. (Vasconcelos y Sánchez; 2003: 63).

Otra definición puede ser que el mortero es una pasta formada por una mezcla de cemento, agua y agregado fino como la arena. Es esencial en construcción ya que es el material con el que se pegan los bloques de construcción como ladrillos, piedras, bloques de concreto. Además, se usa para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y para revocar las paredes.

Actualmente, hay muchas clases de morteros, entre los más comunes podemos encontrar el mortero de cemento y arena. Otro mortero es hecho de cal y

arena. También se usa el mortero compuesto de cemento, cal y arena. Otro mortero muy popular es el mortero de cemento Portland, que es una mezcla de cemento Portland con arena y agua que fue inventado en 1974.

Por último, el mortero de limo también es muy usado. Su velocidad de fijación no es tan buena, pero se puede mejorar usando piedras calizas impuras en el horno. De esa manera, se forma un limo hidráulico que se fija en contacto con el agua. Ese limo se almacena como polvo seco. El mortero de limo se considera respirable, que significa que permite a la humedad moverse libremente en él y se evapora hacia la superficie, manteniendo las paredes secas. Si se reparara una estructura construida con mortero de limo usando mortero de cemento, la humedad ya no se evaporaría y se concentraría detrás del cemento.

1.6.1.- Propiedades de los morteros.

Según Villasante (2008), las principales propiedades de los morteros son, su resistencia a la compresión y a la tensión, la adherencia que tiene con otros materiales, módulo de elasticidad, trabajabilidad, rapidez de fraguado, impermeabilidad y otra característica importante es su retención de agua.

Los morteros de cemento son los que tienen una mayor resistencia como mayor módulo de elasticidad, pero tienen como desventajas su rápido fraguado, son menos trabajables que los morteros de cal, poca retención de agua y una mezcla de estas puede usarse como máximo de 40 a 60 minutos después de su elaboración.

De conformidad con Gallo, Espino y Olvera (2005), las propiedades del mortero que más influyen en el comportamiento estructural de los elementos de mampostería son su deformabilidad y la adherencia a las piezas. De la primera depende en gran medida, las deformaciones totales del elemento y su resistencia a carga vertical. La adherencia entre el mortero y las piezas es fundamental para la resistencia por cortante del elemento.

Vasconcelos y Sánchez (2003), mencionan que los morteros a base de cal, son de baja resistencia a la compresión, del orden de 1 a 10 kg/cm², por lo cual en las NTCM se descarta el uso de la cal como único cementante del mortero en elementos que tengan función estructural. Las ventajas que tienen estas mezclas son: su buena trabajabilidad, fraguado lento y con buena retención de agua. El fraguado lento es favorable ya que permite preparar una mezcla para toda una jornada de trabajo, sin embargo una desventaja importante se refiere a que la resistencia de la mampostería se desarrolla lentamente.

Los morteros que contienen más de un material cementante se conocen como mixtos. Con frecuencia en la práctica prevalecen los morteros elaborados con cemento y cal ya que reúnen ventajas de los dos materiales, dando lugar a mezclas de buena resistencia y trabajabilidad. También se usan ampliamente los cementantes premezclados, como los llamados cementos de albañilería que contienen cemento, cal y aditivos plastificadores.

Para fines estructurales, la relación arena a cementante recomendable debe estar entre 2.25 y 3 ya que se obtienen así mezclas de buena resistencia,

buena adherencia con la piedra y baja contracción. La variabilidad en la resistencia que se obtiene para un proporcionamiento dado es considerable, debido a que la dosificación se hace por volumen y sin controlar la cantidad de agua. El coeficiente de variación se encuentra entre 20 y 30%.

Tipos 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	0	0 a ¼	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen	125
	1	0 a ½	0		75
II	1	0	1/4 a 1/2		No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen
	1	1/2 a 1	0	40	
III	1	0	1/2 a 1 1/4	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen	

* El volumen de arena se medirá en estado suelto.

Tabla 1.6 Proporcionamientos recomendados para mortero en elementos estructurales (Fuente NTCM, 2005; 679).

Recomendaciones del RCDF y sus normas técnicas para los morteros.

- a) Su resistencia en compresión no será menor de 40 kg/cm².
- b) La relación volumétrica entre la arena y la suma de cementantes se encontrará entre 2.25 y 3.
- c) La resistencia se determinará según lo especificado en la Norma Oficial Mexicana (NOM C 61).
- d) Se empleará la mínima cantidad de agua que de cómo resultado un mortero fácilmente trabajable.

1.7.- Acero de refuerzo.

De acuerdo con las NTCM (2005), el refuerzo que se emplee en castillos, y dalas y/o elementos colocados en el interior del muro, estará constituido por barras corrugadas, por malla de acero, por alambres corrugados laminados en frío, o por armaduras soldadas por resistencia eléctrica de alambre de acero para castillos y dalas, que cumplan con las Normas Mexicanas correspondientes. Se admitirá el uso de barras lisas, como el alambrón, únicamente en estribos, en mallas de alambre soldado o en conectores. El diámetro mínimo del alambrón para ser usado en estribos es de 5.5 mm.

A continuación se muestra una tabla con las características del acero de refuerzo comúnmente utilizadas en la construcción de viviendas.

Denominación	Diámetro		Área cm ²	Peso kg/cm ²	fy kg/cm ²	Notas
	mm	pulg				
Alambrón No. 2	6.4	1/4	0.32	0.248	2100	Lisa
No. 2.5	7.9	5/16	0.49	0.388	4200	Corrugada
No. 3	9.5	3/8	0.71	0.560	4200	
No. 4	12.7	1/2	1.27	0.994	4200	
No. 5	15.9	5/8	1.98	1.552	4200	

Tabla 1.7 Características de barras de refuerzo (Fuente SMIE, 2003; 68)

Diámetro		Área cm ²	Peso kg/m	fy kg/cm ²	Nota	NMX
mm	pulg					
4.0	5/32	0.12	0.1	6000	Corrugada	NMX-B-072
4.8	3/16	0.18	0.14	6000		
6.4	1/4	0.32	0.25	6000		
7.9	5/16	0.49	0.39	6000		

Tabla 1.8 Características de alambre de acero laminado en frío para refuerzo (Fuente SMIE, 2003; 69)

Otras de las Normas Mexicanas que se deben cumplir tanto en la fabricación de alambre, barras, mallas y armaduras son las siguientes:

NMX-B-072 Alambre corrugado de acero, laminado en frío para refuerzo de concreto.

NMX-B-253 Alambre liso de acero, estirado en frío para refuerzo de concreto.

NMX-B-290 Malla soldada de alambre liso de acero, para refuerzo de concreto.

1.8.- Concreto.

Según Gallo, Espino y Olvera (2005), el concreto es la mezcla de varios materiales como son: cemento, agua, agregados finos (arena) y gruesos (grava). A la arena y la grava se les denomina agregados inertes y al cemento y el agua agregados activos, ya que al unirse provocan una reacción química que ocasiona el fraguado o el endurecimiento de la mezcla. La característica más importante del concreto es su alta resistencia a la compresión no así a la tensión, esta última se corrige al combinar el concreto con el acero de refuerzo, dando como resultado un material óptimo para la construcción llamado concreto reforzado.

De acuerdo con Vasconcelos y Sánchez (2003), mencionan que para lograr la integración del acero de refuerzo con la mampostería los huecos de las piezas se llenan con concreto, el cual, para poder ser vaciado, debe tener una elevada fluidez.

En las construcciones de mampostería reforzada se busca que el concreto líquido tenga una elevada trabajabilidad. Así una medida recomendable de revenimiento es de 20 cm. Esta condición demanda contenidos de agua elevados sin producir segregación de los materiales, con relaciones agua/cemento de entre 0.8 y 1.2. La consistencia del concreto líquido debe ser compatible con las dimensiones de los espacios a llenar y con las características de absorción de la mampostería. El tamaño máximo de agregado (TMA) está limitado, por la dimensión de los huecos, por lo que las NTCM especifican no usar TMA mayores de 1 cm.

El transporte y el vaciado del concreto pueden efectuarse por cualquier método no sujeto a segregaciones. El vaciado debe llevarse a cabo de tal modo de no producir segregación y de no dejar aire atrapado en los huecos de las piezas. El concreto líquido debe compactarse, ya que usualmente, la presión hidrostática no es suficiente para tal efecto, por lo que es indispensable vibrar.

CAPÍTULO 2

ESTRUCTURACIÓN DE LAS VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA EN MÉXICO

En este capítulo se habla del sistema estructural de las viviendas, como son las cimentaciones sus tipos y características de igual forma se hablará de los sistemas de piso y por último se mencionarán los tipos de muros y las características de ellos.

2.1.- Concepto de estructura.

La estructura es la parte de la una construcción de acuerdo con Meli (2007), que tienen como función absorber las solicitaciones que se presentan durante las distintas etapas de su existencia. En el diseño estructural se definen las características del sistema estructural para que cumpla de manera óptima con sus objetivos, que son resistir las fuerzas a las que va a estar sometido, sin colapso o mal comportamiento.

En el proceso de la estructuración se determinan los materiales de los que va a estar constituida la estructura, la forma de ésta, el arreglo de sus elementos, sus dimensiones y características más esenciales.

A continuación se mencionarán las diferentes partes que forman el sistema estructural de las viviendas en México.

2.2.- Cimentaciones.

Villasante (2008), argumenta que todo tipo de estructura que se apoya sobre la tierra está formado por dos partes llamadas superestructura, que es la parte superior que sobresale del nivel del suelo e infraestructura o cimentación, parte que se encuentra bajo el nivel del suelo.

De acuerdo con Gallo, Espino y Olvera (2005), las cimentaciones son los elementos estructurales encargados de transmitir las cargas de la estructura a los estratos resistentes del terreno, con el fin de reducir o evitar hundimientos en la estructura y volteo de la misma por efecto de las acciones de las cargas horizontales.

Los esfuerzos que soporta la estructura de un edificio a través de los elementos portantes, como menciona Asensio (1989), se transmiten hasta ser absorbidos por el terreno. La misión de los cimientos es la de repartir homogéneamente las cargas de una edificación al terreno, evitando asentamientos diferenciales y proteger de la humedad del suelo al resto de la construcción.

Uno de los criterios de clasificar las cimentaciones, es la profundidad de su desplante y de acuerdo a este criterio las cimentaciones pueden ser de los siguientes tipos:

- Cimentaciones superficiales.
 - Zapatas
 - Aisladas

- Corridas
 - combinadas
- Losas de cimentación
- Cimentaciones compensadas
 - Cajones de cimentación
 - Subcompensadas
 - Compensadas
 - Sobrecompensadas
- Cimentaciones profundas
 - Pilotes
 - De punta
 - De fricción
 - Pilas
 - Cilindros

Para la elección y diseño de una cimentación debe tomarse en cuenta una serie de factores relacionados tanto en la estructura como en el suelo.

- Análisis de cargas
 - Tipos de cargas
 - Magnitud de las cargas
 - Posición de cada carga
- Estudio de mecánica de suelos
 - Tipo de suelo
 - Peso específico

- Capacidad de carga
- Módulo de reacción

Un factor importante en el análisis de la cimentación y su elección, es conocer la capacidad admisible de un suelo para que con una carga transmitida a ella, ésta no sea dañada en su composición natural, esto se obtienen mediante un estudio de mecánica de suelos con el cual se adquieren las propiedades del terreno, tales como: parámetros de resistencia, índices de compresibilidad, permeabilidad y datos volumétricos y gravimétricos.

En esta investigación nos enfocaremos a las cimentaciones superficiales ya que son las que se utilizan comúnmente para viviendas, ya que la carga que transmite la estructura al terreno no requiere de otro tipo de cimentación.

2.2.1.- Zapatas.

Según Peck, Hanson y Thornborn (1993), una zapata es una ampliación de la base de una columna o muro, que tiene como objetivo transmitir la carga de la estructura al subsuelo a una presión adecuada a las propiedades del suelo.

Las zapatas que soportan una sola columna se llaman individuales o zapatas aisladas, ésta conforma una especie de extensión inferior ampliada de la columna. Se utilizan en terrenos con una resistencia media alta en relación con el peso de la estructura y suficientemente homogéneo para que no se presenten asentamientos diferenciales considerables. Las zapatas aisladas suelen tener formas geométricas sencillas y simétricas, entre las cuales la cuadrada o rectangular son las más comunes.

La zapata que se construye debajo de un muro o columnas se llama zapata corrida o zapata continua. Se usan en los siguientes casos:

- Se va cimentar un elemento continuo como un muro.
- Se busca homogeneizar los asentamientos.
- Se requiere reducir los esfuerzos del terreno.
- Para puentear defectos en el terreno.
- Por la proximidad de las zapatas aisladas en un eje de la columna.

Si una zapata soporta varias columnas se llama zapata combinada. Éstas se utilizan en los siguientes casos:

- Cuando las zapatas aisladas se traslapan.
- Cuando existe un momento de volteo grande en una de las zapatas aisladas.
- Cuando hay riesgo de que se presenten asentamientos diferenciales debido a que por una columna baja una carga mayor que el resto.

Las zapatas corridas son generalmente hechas de mampostería de piedra braza, mientras que en el caso de las zapatas aisladas se construyen de concreto reforzado y en ocasiones de mampostería de piedra y van ligadas entre sí mediante dalas de desplante.

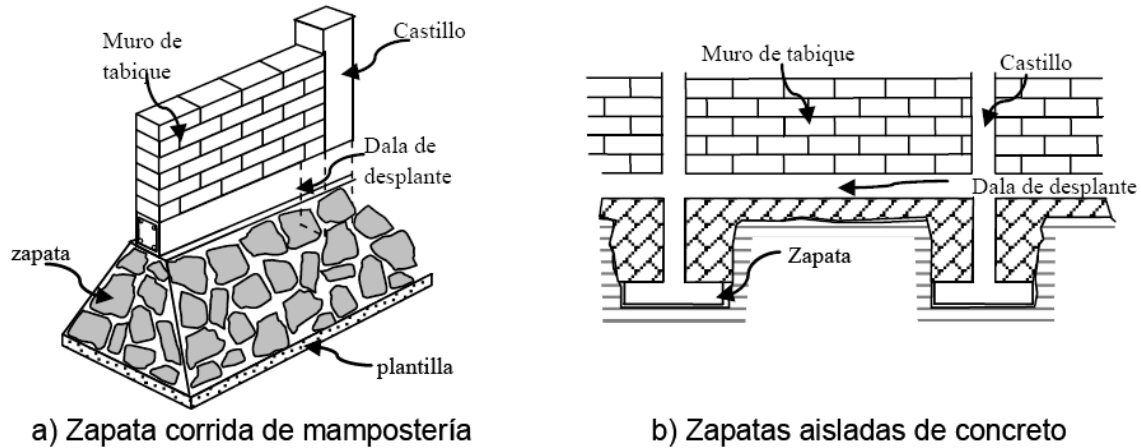


Figura 2.1 Cimentaciones comunes en viviendas a base de muros de mampostería (fuente: Sánchez y Navarro, 2011)

2.2.2.- Losas de cimentación.

Las losas de cimentación como argumenta Meli (2007), forman un tipo de cimentación somera que cubre toda el área bajo la estructura, esta forma de cimentación se emplea cuando es necesario limitar en forma muy estricta los asentamientos diferenciales en construcciones particularmente sensibles a estos.

De acuerdo con Asensio (1989), cuando la capacidad del terreno es muy baja, es conveniente repartir los esfuerzos en la máxima superficie posible, por lo que se utiliza un sistema de cimentación que abarque el total de la construcción, al cual se le denomina losa de cimentación.

Este tipo de cimentación se recomienda en los siguientes casos:

- Cuando existen diferencias considerables en las cargas que bajan por las columnas
- Cuando se tienen suelos altamente compresibles

- Cuando al usar otro tipo de cimentación se cubre una superficie mayor al 66% del área total de construcción

Las losas de cimentación pueden ser espesor constante, con mayor espesor bajo las columnas o pueden ser rígidas con contratraves

2.3.- Sistemas de Piso.

De la Torre (2003), menciona que los sistemas de piso son el sistema estructural que soporta las cargas verticales y las transmite a los elementos portantes como las trabes, dalas y muros. Los sistemas de piso son muy variados desde su diseño unidireccional o bidimensional, así como sus características geométricas y cualidades constructivas.

Según Meli (2007), la función estructural de un sistema de piso es transmitir las cargas verticales hacia los apoyos que a su vez la bajan hasta la cimentación. Además es necesario que cumpla con la función de conectar los elementos verticales y distribuir entre ellos las cargas horizontales, para lo cual deben ser muy rígidos en su plano.

El material más empleado para sistemas de piso es el concreto por su durabilidad, moldeabilidad y economía. La losa maciza en dos direcciones apoyada sobre muros de carga es el sistema típico para claros pequeños, como los más usuales en viviendas económicas.

Retomando a De la Torre (2003), Los sistemas de pisos deben cumplir con el siguiente desempeño estructural:

- a) Bajo cargas gravitacionales deben cumplir con las deformaciones verticales permisibles, durante la operación de colados complementarios en su etapa constructiva, así como en su etapa definitiva, para preservar los materiales frágiles por ellos soportados.
- b) Al recibir impacto por las cargas vivas, deben responder con vibración aceptable por el usuario. En general, al cumplirse las deformaciones verticales reglamentarias, queda cubierta esta respuesta desagradable.
- c) El desempeño como diafragma horizontal eficiente, para unir entre sí a todos los elementos verticales de rigidez, durante una acción sísmica o de viento, es indispensable para garantizar la aplicación de métodos simplificados y métodos detallados de análisis.

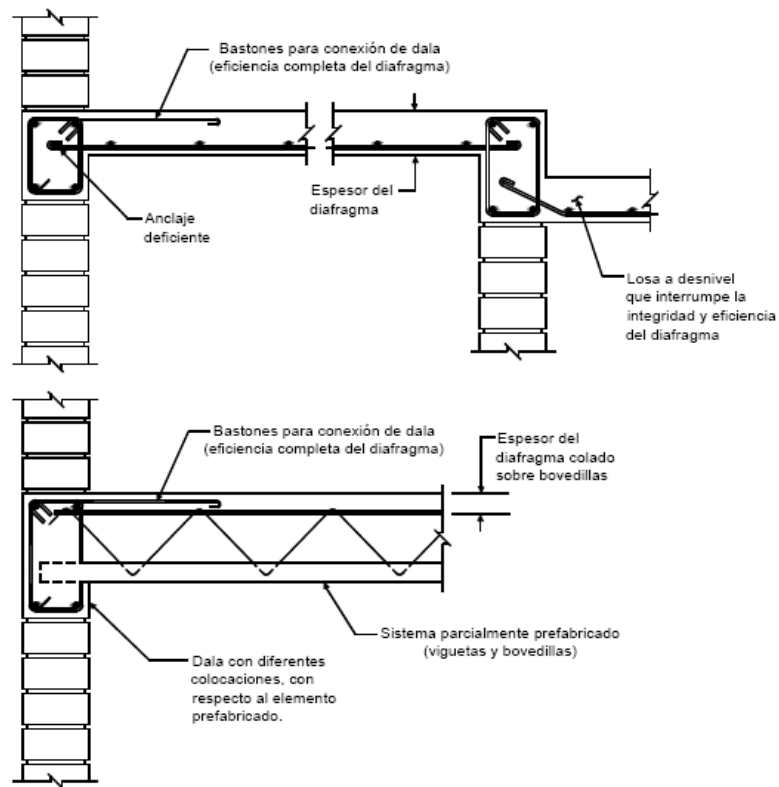


Figura 2.2 Detalles y recomendaciones constructivas (fuente: SMIE, 2003; 85)

2.3.1.- Losa maciza.

El procedimiento para definir su espesor, y dosificar su acero de refuerzo, como menciona la De la Torre (2003), es trabajo del estructurista, y a continuación se mencionan algunas observaciones y recomendaciones que obedecen a experiencias y práctica profesional.

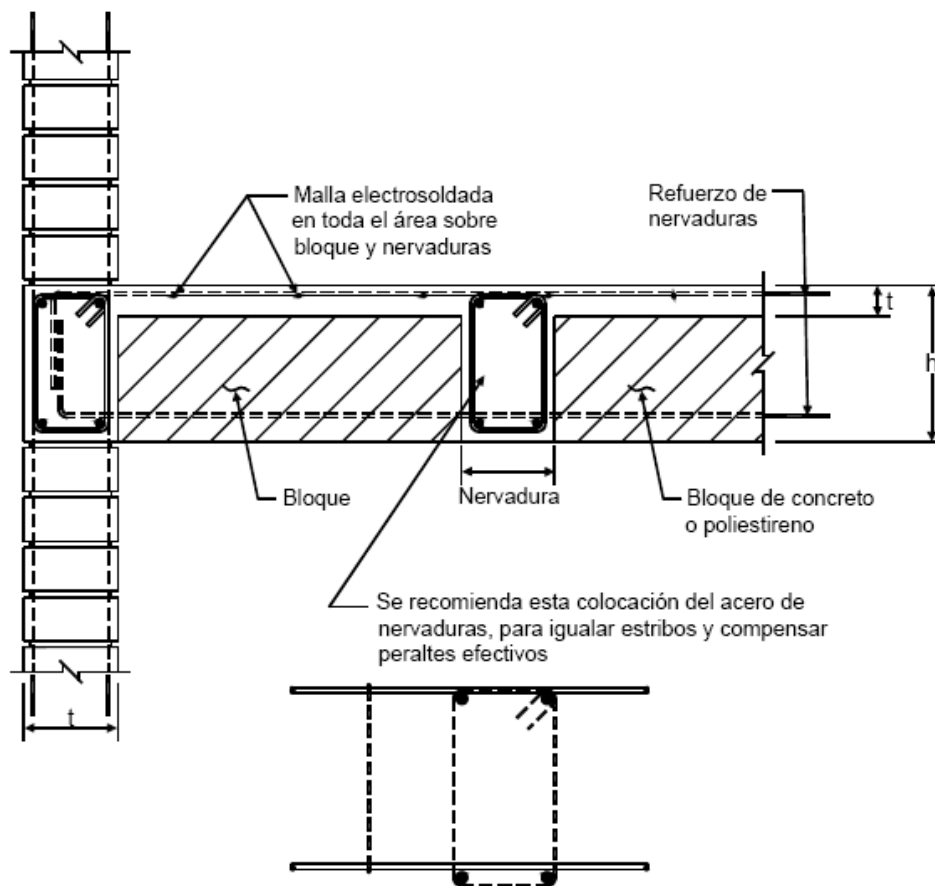
- a) La correcta colocación del acero de refuerzo. La redistribución de esfuerzos que se produce por mala colocación del acero de refuerzo, no repercute de manera importante en el comportamiento como diafragma, pero provoca fisuras inaceptables, que reducen la capacidad por cargas verticales y deformaciones mayores que las previstas.
- b) La práctica común de no compactar la masa de concreto fresco, y la acción incompleta o nula de curado, producen agrietamientos prematuros e indeseables, que finalmente afectan a los acabados y vida útil de la propia estructura.
- c) En las zonas de esquina de cada tablero, se produce una flexión local en dirección diagonal, ya que la presencia de un claro muy corto, sin armado en el lecho inferior, genera agrietamiento pocas veces previsto.

2.3.2.- Losas aligeradas.

Este tipo de estructura, tiene en general un volumen de concreto similar al de la losa maciza, tiene mejores propiedades de inercia, pero requiere de

elementos adicionales como bloques, que aunque dificultan la acción de armado, benefician la operación durante el colado.

Un tipo de losa aligerada de conformidad con Melli (2007), es la losa reticular, que está formada por una retícula de nervaduras poco espaciadas en las que se concentra el esfuerzo de flexión. Su análisis se realiza con métodos aproximados que permiten calcular que fracción de los momentos flexionantes totales en cada dirección debe ser resistida por diferentes franjas de losa.



* El espesor (t) sobre bloques, constituye el diafragma horizontal y al quedar integrado a las nervaduras, éstas operan también como un diafragma de espesor (h), cuya efectividad debe demostrarse

Figura 2.3 Corte en losa aligerada (Fuente: SMIE, 2003; 88)

Otro de estos tipos de sistema es el de vigueta y bovedilla, estos permiten la integración de unas vigas prefabricadas de concreto presforzado, o tipo armadura, con una capa de compresión colada en sitio. Las bovedillas son elementos de cimbra y aligeramiento de la losa. Una de las ventajas importantes de estos sistemas, es que proporcionan buen aislamiento térmico y acústico por su mayor espesor y por los elementos huecos de aligeramiento.

2.4.- Muros de mampostería.

Los muros de mampostería son elementos estructurales como menciona Gallo, Espino y Olvera (2005), que se emplean de manera frecuente en la construcción de diversas construcciones. Dependiendo de su funcionamiento se clasifican como: muros de carga, muros de contención, muros divisorios y bardas. En las viviendas es donde más se utiliza este sistema de construcción.

Melli (2007), menciona que la mampostería, es un material de baja resistencia a la tensión y por su comportamiento frágil, es muy sensible a los efectos sísmicos, pero con un refuerzo y confinamiento adecuado se pueden superar estos inconvenientes, aprovechando la gran cantidad de muros que se tienen en construcciones a base de muros de mampostería, como es en edificios de viviendas multifamiliares o de varios pisos.

Es de gran importancia en estas estructuras buscar la simetría y la uniformidad, tanto en planta como en elevación. Las construcciones de este tipo sólo tienen un comportamiento satisfactorio ante cargas laterales si actúan como estructuras tipo cajón, es decir, que las cargas que actúan sólo produzcan fuerza

en el plano de los muros y provoquen flexión a dicho plano. A la vez, los muros que se intersectan deben estar ligados entre sí en sus zonas de contacto, para dar esta liga se debe utilizar refuerzo en todo contorno y en la periferia de sus huecos para absorber las tensiones que se produzcan en las esquinas.

2.4.1.- Tipos de Muros.

Villasante (2008), argumenta que los muros de mampostería de acuerdo a su función estructural dentro de una estructura se clasifican en: muros diafragma, muros confinados y muros reforzados.

2.4.1.1.- Muros diafragma.

Estos se encuentran rodeados por marcos estructurales, formados por trabes y columnas que proporcionan una mayor rigidez ante cargas laterales. El sistema constructivo de estos muros evitará su desplazamiento lateral, mediante elementos de sujeción adecuados.

De acuerdo con De la Torre (2003), la unión entre el marco y el muro diafragma deberá garantizar la estabilidad de este, bajo la acción de cargas perpendiculares al plano del muro. Además, las columnas del marco deberán ser capaces de resistir, cada una, en una longitud igual a una cuarta parte de su altura libre, una fuerza cortante igual o mayor a la mitad de la carga lateral que actúa sobre el tablero.

2.4.1.2.- Muros confinados.

Según Melli (2007), los muros confinados son aquellos que están rodeados por elementos de concreto del mismo espesor de los muros, los elementos verticales son llamados castillos y los horizontales dalas o cadenas. El marco perimetral que forman estos elementos cumplen con la función de ligar los muros entre sí con la losa, proporcionando además un confinamiento al muro, de tal manera que mantengan la integridad de éste evitando su colapso dándole capacidad de deformación y capacidad de carga extra más allá del agrietamiento diagonal, ante las fuerzas laterales que produzcan el agrietamiento del muro por tensión.

La dimensión mínima de las dalas y castillos como menciona Villasante (2008), será mayor o igual al espesor del muro, el concreto tendrá una resistencia a compresión ($f'c$), no menor de 150 kg/cm^2 . El refuerzo longitudinal estará formado por lo menos por tres barras corrugadas de acero o barras lisas en mallas electrosoldadas que cumplan con las especificaciones de las Normas Técnicas Complementarias para mampostería (NTCM).

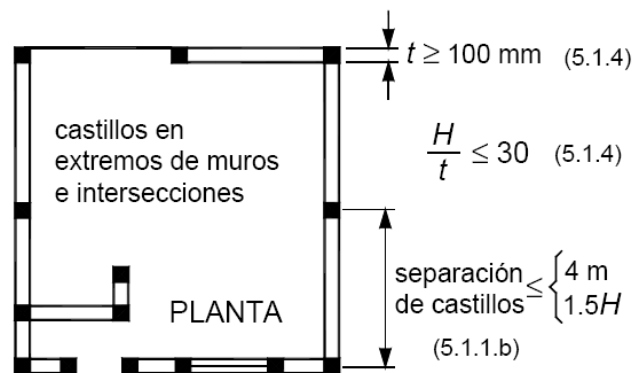
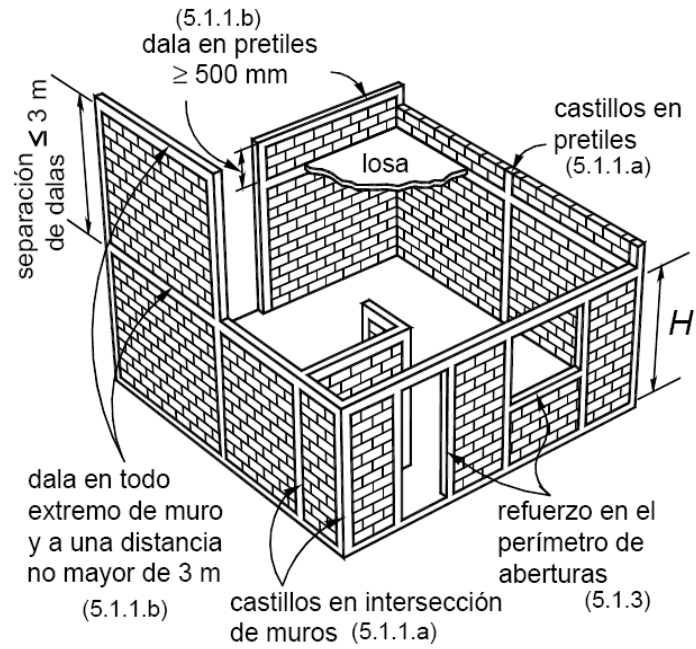


Figura 2.4 Requisitos para mampostería confinada. (Fuente: NTCM, 2005; 711)

Las características que deben cumplir los elementos de acuerdo con las NTCM (2005), son:

- a) Deberá colocarse un castillo en cada extremo o intersección de muros y a una separación no mayor que 1.5 H o 4 metros. Los pretiles o paramentos deberán tener castillos con separación no mayor a 4 metros.

- b) Deberá colocarse una cadena en todo extremo superior o inferior de muro a una separación no mayor a 3 metros, y en los pretilos o paramentos cuya altura sea mayor a 50 centímetros.
- c) Los castillos y dalas tendrán como dimensión mínima el espesor t , de la mampostería del muro.
- d) El concreto de dalas y castillos tendrá una resistencia a la compresión $f'c$, no menor que 150 kg/cm^2 .
- e) Los castillos y dalas tendrán un refuerzo longitudinal A_s , que no será menor que:
- $$A_s = 0.2 \frac{f'c}{f_y} t^2$$
- f) El refuerzo de dalas y castillos deberá estar anclado en los elementos que limitan al muro de manera que pueda fluir
- g) Los castillos y dalas estarán reforzados transversalmente por estribos, cuya área no será menor que: $A_{sc} = \frac{1000s}{f_y h_c}$ en kg/cm^2 y cm .

Donde:

h_c dimensión del castillo o dala en el plano del muro

s separación de los estribos, que no excederá de 1.5 t ni 200 mm

2.4.1.3.- Muros reforzados.

Las NTCM (2005), indican que estos muros estarán formados por piezas huecas con refuerzo a base de barras o alambres corrugados de acero, horizontales y verticales, colocados en los huecos de las piezas en ductos o juntas formados por las mismas piezas.

Para que un muro pueda considerarse como reforzado deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- a) La suma de la cuantía de acero de refuerzo horizontal, ρ_h , y vertical, ρ_v , no será menor que 0.002 y ninguna de las dos cuantías será menor que 0.0007.

$$\rho_h = \frac{A_{sh}}{s_h t} ; \quad \rho_v = \frac{A_{sv}}{s_v t}$$

A_{sh} área de acero refuerzo horizontal que se colocará en el espesor t , del muro a una separación s_h .

A_{sv} área de acero de refuerzo vertical que se colocara a una separación s_v .

- b) Cuando se emplee acero de refuerzo con fluencia mayor a 4200 kg/cm^2 , las cuantías mencionadas se podrán reducir multiplicándolas por $4200/f_y$.

2.4.1.4.- Muros no confinados ni reforzados.

Se consideran como muros no confinados ni reforzados aquellos que, aun contando con algún tipo de refuerzo o confinamiento, no cumplan con las características necesarias que mencionan las NTCM (2005).

CAPÍTULO 3

EVALUACIÓN Y REHABILITACIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERÍA.

En este capítulo se describirán los tipos de daños más comunes que se presentan en las estructuras de mampostería, así como los pasos a seguir para la evaluación de los daños de éstas, también se hablará de las diferentes técnicas de rehabilitación que se utilizan.

3.1.- Principales tipos de daño en estructuras de mampostería.

Los daños que se presentan en las viviendas pueden ser por diferentes causas como señala la página de internet www.asosismica.org (2011), las causas más usuales de daños en las viviendas son: los sismos, deslizamientos, asentamientos y deformaciones del suelo, vientos fuertes y el deterioro natural de las estructuras.

Otra causa por la que se presentan daños en viviendas de acuerdo con la página de internet www.ceramicaroja.com (2011), es por las deficiencias en el diseño y construcción de las mismas, esto originado por la falta de conocimientos, usos y costumbres de las personas, que recurren a la autoconstrucción sin tomar en cuenta los reglamentos y normas de construcción.

A continuación se mencionan los tipos de daños más comunes que se presentan en estructuras de mampostería según Sánchez y Navarro (2011).

- Asentamientos mayores a los permisibles. Se deben a la deficiencia en la cimentación, ya que generalmente no se diseña y no estudia las propiedades del suelo. Cuando esto se presenta aparecen grietas en las zonas de tensión.
- Deflexiones en las losas. Se deben a que las características de la losa no son las adecuadas, generando agrietamiento en los muros de los niveles superiores.
- Agrietamientos por cargas concentradas sobre los muros. Cuando un elemento que transmite carga se apoya directamente en un punto del muro, le transmite una carga concentrada que le genera aplastamiento o pandeo. En ambos casos se generan grietas verticales y horizontales.
- Grietas por cortante lateral. Cuando se presenta alguna fuerza que genera deformación lateral del muro, como es el caso de las fuerzas sísmicas, aparecen esfuerzos de tensión diagonal en los muros, provocando grietas inclinadas. Los muros más susceptibles a este tipo de fallas son aquellos que no tienen un confinamiento adecuado o que tienen aberturas importantes
- Fallas por empuje en el plano del muro. Cuando los muros se ven sometidos a fuerzas laterales perpendiculares a su plano puede presentar pandeo y agrietamientos, además de que existe el riesgo de volteo.

3.2.- Evaluación de daños en estructuras de mampostería.

Como menciona la página de internet www.institutoconstruir.org (2011), en el proceso de rehabilitación de un edificación la inspección y evaluación, constituyen un de los pasos más importantes, pues esto dará la información para elegir la mejor solución a las causas del problema.

No resulta fácil definir una metodología única para la realización de la inspección y evaluación, puesto que el diseñador se enfrenta a un sistema que ya fue construido y que en ocasiones no fue diseñada ni construida según una norma. La meta de la evaluación es identificar las variables y características más relevantes de una estructura para desarrollar un análisis lo suficientemente completo.

De acuerdo con Alcocer (2003), es de gran importancia recuperar todo el material disponible sobre el diseño, construcción, características del suelo, así como modificaciones posteriores. En este se incluyen cálculos, especificaciones, inspecciones, normas, planos, modificaciones al proyecto, determinación de propiedades de los materiales y cualquier evidencia que ayude a caracterizar el diseño original y la configuración actual.

La inspección de un edificio es necesaria para confirmar que el registro documental recuperado refleje cercanamente las condiciones existentes. En una inspección se deben revisar la configuración, condición y deficiencia de la estructura.

En la inspección de la configuración de la estructura se incluye la verificación de las dimensiones del edificio, el arreglo de los elementos y las propiedades mecánicas de los materiales. Las dimensiones de los elementos son generalmente fáciles de obtener, sin embargo, el armado de un castillo u otro elemento de concreto es imposible de obtener sin retirar el recubrimiento. Para esta fase es suficiente con emplear cintas métricas y equipos topográficos.

En la inspección de la condición estructural se incluyen la evaluación de puntos de aplicación de carga, signos de deterioro e influencia del ambiente. Si no hay señales claras de daño, es útil recurrir a técnicas de ensaye destructivo y no destructivo.

Es necesario evaluar las propiedades mecánicas de los materiales a través de inspecciones visuales y cuantificarlas mediante ensayos. En particular, es necesario en aquellos muros que resisten las mayores acciones, así como los que estén expuestos a ambientes locales agresivos, o cerca de las cimentaciones.

Una etapa necesaria en el proceso de evaluación es la revisión de las deficiencias de la estructura. Estas pueden ser el resultado de irregularidades (en planta o en elevación), elementos o regiones de la estructura más débiles que otras, presencia de edificios vecinos, materiales de construcción inapropiados, un sistema estructural mal concebido, detalles inadecuados, amenazas por condiciones del suelo, entre otras.

Retomando a Sánchez y Navarro (2011), la inspección de la estructura dañada se puede desarrollar en dos etapas:

1.- Inspección general. En esta etapa se realiza una revisión visual de la estructura dañada con la finalidad de identificar el sistema estructural y el daño que presentan sus elementos, así como sus posibles causas. Para esto, es necesario recabar información importante sobre la construcción como:

- El uso de la estructura
- La edad de la construcción
- Su ubicación y tipo de suelo
- Su sistema estructural
- Tipo de cimentación
- Materiales utilizados

Respecto a los daños que presenta la construcción, se debe de identificar:

- Irregularidades del sistema estructural
- Ubicación de los muros dañados
- Porcentaje global de los muros dañados
- Patrones de grietas en los muros
- Longitud de las grietas
- Anchura y profundidad de las grietas
- Identificación de problemas en la cimentación

Con la información recabada en la inspección general se realiza una evaluación preliminar de los daños. Dado que la falla más común en la mampostería es la aparición de grietas en los muros. El patrón de las grietas puede indicar la causa de la falla del muro.

Grietas diagonales están asociadas a esfuerzos cortantes, ya sea por hundimientos (grietas en una dirección) o por la acción de fuerzas sísmicas (grietas en dos direcciones).

Grietas verticales son debidas a la acción de cargas concentradas o a flexión debido a la deformación del elemento donde se apoya el muro.

Grietas horizontales indican flexión en dirección perpendicular al plano del muro, ya sea por pandeo debido a cargas verticales o por la presencia de fuerzas normales al muro.

No existe una clasificación universal y absoluta de la anchura de grietas que pueda considerarse peligrosa, ya que depende de la función de la estructura, tipo de acción, forma de grieta. La manera más sencilla para medir la anchura es mediante la comparación de la grieta con marcas de diferentes anchuras pintadas en láminas plásticas (llamado comparador de grietas o *grietómetro*).

Un aspecto crucial en la evaluación de una estructura de mampostería es determinar si la grieta está activa o es pasiva. Las activas manifiestan deslizamientos y anchuras mayores, mientras que las pasivas no cambian ni en anchura ni longitud.

A continuación se muestra una tabla en la cual de acuerdo a la anchura de la grieta se clasifica el daño que presenta un muro.

Grado	Estado de Daño
I	Grietas pequeñas, difícilmente visibles sobre la superficie del muro. Grietas mínimas en castillos y dalas de confinamiento. Grietas con anchuras menores que 0.2 mm.
II	Grietas claramente visibles sobre la superficie del muro, con anchuras entre 0.2 y 1 mm.
III	Inicio de la formación de agrietamiento diagonal en muros confinados con castillos y dalas. Grietas grandes en la superficie del muro, con anchuras entre 1 y 3 mm.
IV	Agrietamiento diagonal en muros confinados con castillos y dalas, o en muros de relleno ligado a marcos; grietas con anchuras mayores que 3 mm. Inicio de la formación de agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dalas.
V	Desprendimiento de partes de piezas. Aplastamiento local de la mampostería. Prolongación del agrietamiento diagonal en castillos o en dalas (anchuras de grietas superiores a 1 mm). Agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dalas. Deformación, inclinación horizontal o vertical apreciable del muro.

Tabla 3.1 Grado de daño en muros de mampostería en función del tamaño de las grietas (Fuente: SMIE, 2003; 466).

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM, 2005), clasifican los daños de elementos estructurales de igual forma en cinco niveles.

a) Insignificante, que no afecta de manera relevante la capacidad estructural (resistente y de deformación). La reparación será de tipo superficial.

b) Ligero, cuando afecta ligeramente la capacidad estructural. Se requieren medidas de reparación sencillas para la mayor parte de elementos y de modos de comportamiento.

c) Moderado, cuando afecta medianamente la capacidad estructural. La rehabilitación de los elementos dañados depende del tipo de elemento y modo de comportamiento.

d) Severo, cuando el daño afecta significativamente la capacidad estructural. La rehabilitación implica una intervención amplia, con reemplazo o refuerzo de algunos elementos.

e) Muy grave, cuando el daño ha deteriorado a la estructura al punto que su desempeño no es confiable. Abarca el colapso total o parcial. La rehabilitación involucra el reemplazo o refuerzo de la mayoría de los elementos, o incluso la demolición total o parcial.

2.- Inspección detallada. En esta etapa se hace un estudio de cada elemento dañado. Para esto, es necesario retirar el material de recubrimiento para observar y medir el daño real en las piezas de mampostería.

Para la evaluación de la mampostería existen diversos métodos que de acuerdo con Alcocer (2003), pueden ser no destructivos o destructivos, ya que algunos requieren la extracción de probetas y otros pueden dejar manchas, agujeros u otras marcas.

Con algunos métodos se mide directamente la resistencia, algunos otros requieren de correlaciones con pilas o corazones para estimar la resistencia. A continuación se describen las ventajas y desventajas de los métodos en cuanto a su aplicación en mampostería.

3.2.1 Inspección visual.

Consiste en la inspección de grietas, de los efectos de intemperismo, deterioro del mortero, corrosión, eflorescencia y otros defectos que pueden ser detectados mediante la ayuda de lupas de baja potencia. En este método se incluyen mediciones de asentamientos diferenciales, así como el uso de equipos de fibra óptica para detectar grietas internas y vacíos.

3.2.2.- Martillo de rebote.

Para determinar la uniformidad en la mampostería y para delimitar zonas de mampostería débil o de baja calidad se emplea un martillo de acero accionado por un resorte o bien un martillo colocado en un péndulo. Consiste en un pistón de acero endurecido que es accionado por un resorte conectado a una masa. La herramienta se coloca contra la superficie de mampostería y se descarga el resorte, empujando la masa contra la mampostería. La masa rebota de la superficie, la distancia de rebote es medida en una escala lineal fija al cuerpo del instrumento, la cual permite estimar la dureza.

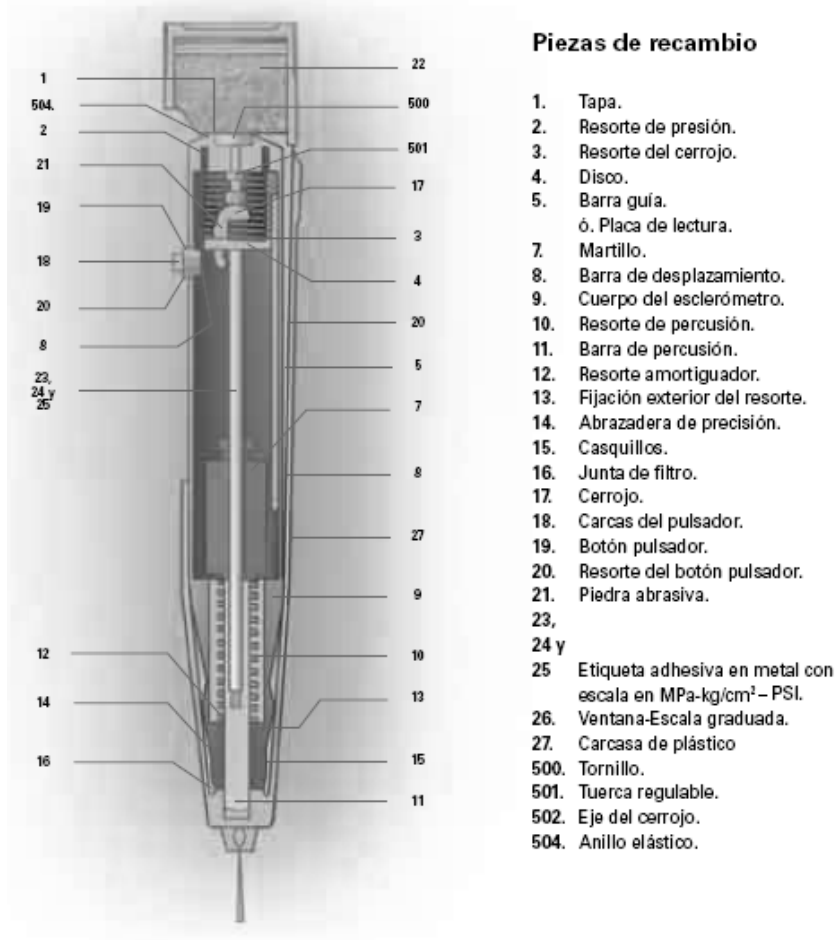


Figura 3.1 Martillo de rebote (Fuente: IMCYC, 2009).

3.2.3.- Pruebas de extracción.

En ellas, se determina la resistencia a tensión o cortante de anclas o conectores instalados en mampostería. El ancla se instala mediante resinas epóxicas en la pieza o en la junta. Las pruebas de extracción se pueden usar para evaluar la adecuada instalación de conectores. Este enfoque ofrece la ventaja de que el daño en la mampostería es nulo o muy reducido, pero de fácil reparación. Las pruebas de extracción son ligeramente destructivas y dejan marcas de forma de cono y grietas que deben ser reparadas.

3.2.4.- Barrenado.

En este método se mide la energía consumida para perforar una junta de mortero con una broca. Se usa para determinar la uniformidad de las juntas, así como para identificar áreas de mortero deteriorado.

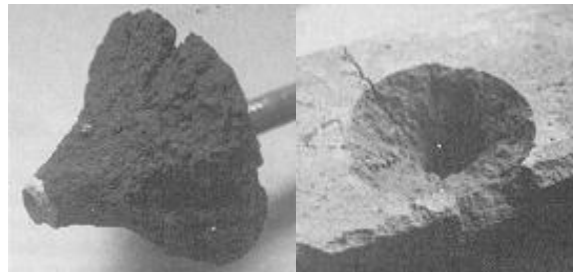


Figura 3.2 Falla típica de extracción de un conector embebido en mampostería (Fuente: SMIE, 2003; 481).

3.2.5.- Pruebas de penetración.

Alcocer (2003), menciona que la prueba de penetración consiste en un aparato con forma de pistola que dirige una carga (empuje neumático producido con un cartucho de pólvora o bien resultado de un resorte comprimido) contra el

espécimen en estudio. La profundidad de penetración es afectada por la resistencia, rigidez y densidad del material que rodea la zona, así como por la deformación elástica de la masa contra la que las probetas son disparadas, esto sirve para conocer la uniformidad de las piezas y las juntas. Es importante que la prueba se ejecute sobre partes sólidas de piezas, y no sobre las paredes de alvéolos. La superficie debe ser relativamente lisa, de modo que pueda asentar la pistola adecuadamente.

3.2.6.- Ensayes a corte en el plano de piezas y elementos.

En este método, se mide la resistencia a la fuerza cortante rasante de una junta de mortero, desplazando horizontalmente una pieza de mampostería con un gato hidráulico. El equipo requerido para esta prueba es simple, un taladro y brocas para retirar el mortero, cinceles y martillos, un gato hidráulico calibrado, bomba hidráulica manual con manómetro de carátula, placas de acero de 12 mm de espesor, rótula para aplicar la carga y equipo de protección. Se debe retirar una pieza, en donde se alojará el gato hidráulico, teniendo cuidado en remover el mortero superior e inferior que queda adherido en ese hueco, así como el mortero de la junta vertical en el extremo hacia donde se moverá la pieza cargada. Una vez colocado el gato en el hueco creado, se alinea y se instala una placa de 12 mm entre éste y la pieza por cargar.

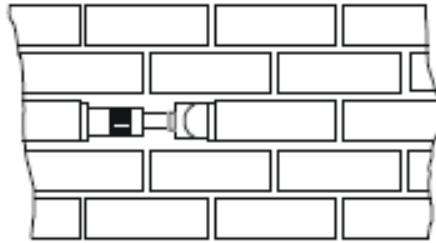


Figura 3.3 Ensayo de corte en el sitio (Fuente: SMIE, 2003; 483).

3.2.7.- Medición de la adherencia mortero pieza.

Alcocer (2003), menciona que mediante un aparato se aplican esfuerzos de flexión a la junta de mortero de modo de medir la adherencia mortero-pieza. Consta de una mordaza que se coloca sobre una pieza, y de una llave para aplicar el momento flexionante. Se colocan láminas de neopreno entre la mordaza y la pieza. Con la llave se aplica una carga axial y un momento flexionante con respecto al eje longitudinal de la pieza. El cálculo del esfuerzo máximo de tensión se hace aplicando la fórmula de la escuadría.

Las limitaciones más serias de la prueba son la afectación estética del edificio, la dificultad de obtener corazones en mamposterías débiles, así como elevados coeficientes de variación.

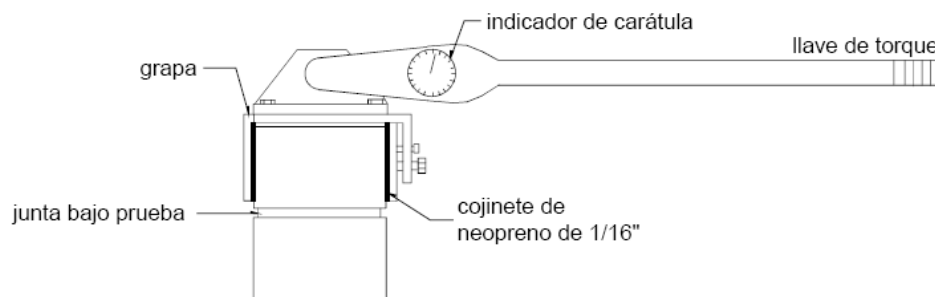


Figura 3.4 Ensayo de corte en el sitio (Fuente: SMIE, 2003; 486).

3.2.8.- Técnicas de transmisión de pulso.

Se mide el tiempo que tarda una onda en atravesar la mampostería. La técnica facilita la determinación de la uniformidad o cambios en propiedades de la mampostería, así como el nivel y extensión del deterioro, agrietamiento o huecos en la estructura. Las bajas velocidades están asociadas a materiales de baja calidad, agrietados o deteriorados. La velocidad de pulso es una característica de cada material, atendiendo a su densidad, ρ , y a su módulo de rigidez dinámica, E_d . Un material denso y rígido tiene mayores velocidades que uno suave y poroso.

La velocidad de transmisión de pulsos del acero es considerablemente superior a la de la mampostería, por lo que puede afectar las mediciones. Se ha encontrado que si el acero es perpendicular a la dirección de transmisión, su efecto es despreciable; no así cuando existen barras de acero en la dirección de transmisión. En este último caso, se debe desechar la medición.

3.2.9.- Métodos magnéticos.

Estos métodos permiten localizar barras y otros elementos de acero mediante aparatos portátiles de tipo magnético como Alcocer (2003). Esta técnica se basa en la medición de las variaciones en el campo magnético inducido, las cuales son proporcionales a la profundidad y a la cuantía de acero.

3.2.10.- Emisión acústica.

Esta es una de las técnicas de evaluación no destructiva de aplicación más reciente en la industria de la construcción. Mediante la medición de emisiones acústicas en materiales esforzados, se localizan las grietas y se detecta su desarrollo, se localizan y miden las imperfecciones, y se evalúa la integridad de la mampostería.

El método se basa en la disipación de energía de deformación de un material esforzado cuando se agrieta; esta energía se refleja en ondas de esfuerzo transitorias. Para registrar dicha energía se usan acelerómetros muy sensibles. Es una técnica muy poderosa para determinar los niveles de esfuerzo en el umbral de daño, la severidad del daño, agrietamiento por fatiga de bajo ciclaje y para identificar efectos de flujo plástico debidos a cargas sostenidas.

3.3.- Técnicas de rehabilitación de muros de mampostería.

De acuerdo con Sánchez y Navarro (2011), un muro de mampostería requiere ser reparado o rehabilitado cuando presenta algún tipo de daño estructural que genera una disminución de su resistencia y por tanto puede dar pie a un mal funcionamiento de la estructura o a alguna falla más grave cuando se vea sometida a acciones de magnitud relativamente grande, como en el caso de que se presente un sismo.

En la actualidad existen diversas técnicas de reparación aplicables a muros de mampostería. La elección de la técnica de reparación a utilizarse en cada caso particular depende de diversos factores, tales como:

- el grado de daño
- la resistencia que se desea que el muro reparado presente
- la durabilidad de los materiales existentes y de los nuevos
- las limitaciones de espacio
- la mano de obra y equipo o herramienta disponible
- el costo
- la importancia de la estructura
- la estética

A continuación se describen algunas de las técnicas de rehabilitación de muros de mampostería.

3.3.1.- Anclas.

Es frecuente que se usen anclas o conectores para facilitar la conexión entre elementos de acero o de concreto a la mampostería existente. Las dos técnicas más comunes usan conectores adhesivos o anclas mecánicas.

Para instalar los conectores adhesivos, o de tipo químico, se barrena el muro y se limpia el agujero, se rellena éste con resina (epóxica, viniléster o poliéster) y se introduce el conector. El procedimiento a seguir es el siguiente:

Los agujeros se practicaron con un rotomartillo con brocas con 3 a 6 mm de diámetro mayores que el del conector. Esta holgura permitirá una distribución adecuada de la resina y minimizará la posibilidad de flujo plástico de ésta. Es esencial que antes de la inyección de la resina, el barreno esté libre de aceite, polvo o partículas finas de las piezas de mampostería. El conector se debe girar

ligeramente conforme se inserta en el barreno para promover una distribución uniforme de la resina en la periferia del ancla.

Los conectores mecánicos suelen ser de tres tipos: de expansión, de campana y de percusión. Los conectores de expansión transmiten la carga mediante fricción contra la pared lateral del agujero; los de campana transmiten la carga mediante trabazón mecánica del conector y la mampostería justo en la base del conector. Los de percusión trabajan a fricción y son instalados con herramientas especiales accionadas con cargas explosivas controladas.

3.3.2.- Reemplazo de Piezas.

De acuerdo con Alcocer (2003), esta técnica generalmente se aplica en muros con zonas muy dañadas, su eficiencia depende de la calidad de su ejecución. Para el correcto reemplazo, es frecuente la necesidad de apuntalar y renivelar la estructura, así como usar morteros o concreto con aditivos estabilizadores de volumen. Con lo último se pretende disminuir la contracción por fraguado y las fisuras que ocurren por las restricciones a la contracción

En el reemplazo de piezas y de concreto dañados es conveniente el uso de materiales del mismo tipo y con una resistencia cuando menos igual a la resistencia del material original. Se debe tener presente que la inserción de piezas o concreto con propiedades muy diferentes puede desencadenar concentraciones de esfuerzos que pueden dañar la estructura.

3.3.3.- Reparación de grietas.

Retomando a Alcocer (2003), la reparación de las grietas consiste, en cerrarlas o rellenarlas con materiales similares o diferentes de la mampostería original. Se pueden distinguir dos tipos de reparación: inyección y rajuelo.

La inyección de grietas representa una manera viable de mantener la funcionalidad del edificio, incrementar su seguridad y durabilidad, pero sin alterar su estética. La técnica consiste en rellenar la grieta mediante la inyección de resina epóxica, para esto se deben limpiar las grietas, retirando todo residuo de polvo y de material flojo o suelto y sellarlas superficialmente con cinta adhesiva o algún sellador de vinilo, se colocan boquillas a separaciones entre 30 y 50 cm. Se recomienda no usar agua para la limpieza esto porque los materiales epóxicos no se adhieren a superficies húmedas. La inyección de la resina debe hacerse a presión, de abajo hacia arriba a lo largo de la grieta.

Para grietas con anchura entre 0.5 y 3 mm se puede inyectar resina, pero es más práctico el uso de lechada de mortero cemento-arena. Las lechadas o morteros fluidos de cemento deben ser inyectables, estables, resistentes y deben tener partículas pequeñas. La primera característica se refiere a la facilidad para fluir a través de grietas y vacíos, mientras que la segunda se refiere a que tenga baja segregación, sangrado controlado y una reducida contracción plástica. La capacidad resistente se refiere a sus resistencias a compresión, tensión y adherencia con las piezas de mampostería.

Para su colocación, se debe barrenar el muro a lo largo de la grieta para colocar ahí las boquillas de inyección, posteriormente, se limpia la grieta y los barrenos, retirando el polvo y material flojo o suelto con aspiradora, después se sellan las grietas con algún material de fraguado rápido y capaz de resistir la presión de inyección, posteriormente se retiran las partículas de la grieta con agua a presión empezando desde la parte más alta. La lechada se mezcla de modo de lograr su homogeneización y la inyección debe hacerse de abajo hacia arriba presión.

Cuando la grieta tiene una anchura superior a 5 mm, resulta conveniente repararla con rajuelas, que son pedazos de piezas que se insertan en cajas abiertas en la grieta. Las rajuelas deben acuñarse debidamente y deben pegarse con mortero tipo I. Antes de colocar el mortero, se debe limpiar y humedecer las superficies que estarán en contacto con él. Es conveniente usar algún aditivo estabilizador de volumen en el mortero de pega, de modo de controlar los cambios volumétricos y la contracción por fraguado que pueda sufrir.

3.3.4.- Inserción de barras de refuerzo.

Otra técnica de rehabilitación de muros de mampostería consiste en colocar barras de refuerzo a lo largo de las juntas de mortero. Para alojarlas, se requiere preparar la junta con ranuras longitudinales y practicar barrenos transversales al muro a ciertos intervalos para amarrar a las barras entre sí. Una vez colocadas las barras, generalmente una en cada lado del muro, se recubren con mortero de

cemento o tipo epóxico. Las barras se deben anclar en los extremos de los muros, preferentemente mediante ganchos estándar a 90°.

Aunque con esta técnica se alcancen recuperaciones aceptables de resistencia, rigidez y capacidad de deformación, exige un procedimiento muy laborioso y con buena supervisión. Su desempeño es altamente dependiente de la calidad de la ejecución. Se recomienda evaluar con cuidado la idoneidad de usar esta técnica según la condición del sitio, y de la mano de obra y supervisión de la localidad.

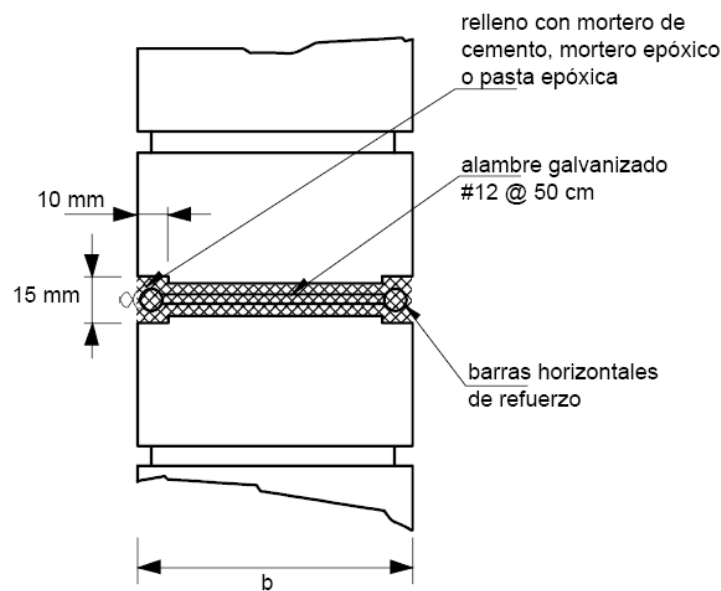


Figura 3.5 Inserción de barras de refuerzo en las juntas de un muro (Fuente: SMIE, 2003; 510).

3.3.5.- Grapado de grietas.

Este método es práctico si el número de grietas es pequeño en conformidad con Alcocer (2003). Consiste en alojar barras de refuerzo con ganchos a 90° en

sus extremos, de forma de una grapa para papel, en sendas ranuras y barrenos practicados en el muro. Las ranuras y barrenos se rellenan con mortero de cemento o, de preferencia, epóxico. Las grapas se deben colocar ortogonalmente a la grieta de modo que resistan las tensiones que se producen cuando la grieta tiende a abrirse. Resultados de laboratorio han indicado un pobre comportamiento ante sismo de muros reparados con grapas debido al pandeo de las grapas inclinadas cuando el sentido de aplicación de la acción se invierte y las grapas tienen que trabajar a compresión. Sin embargo, su desempeño ante acciones monótonas ha sido satisfactorio.

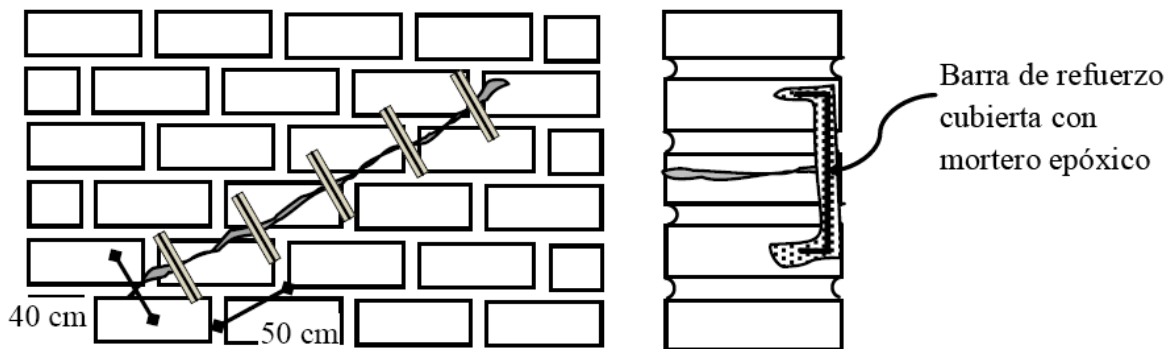


Figura 3.6 Colocación de grapas sobre grietas (Fuente: Sánchez y Navarro, 2011)

3.3.6.- Encamisado de muros con mallas metálicas.

Es una de las técnicas más confiables, eficientes y económicas, la colocación de mallas metálicas, electrosoldadas o hechas con barras convencionales, adecuadamente ancladas a los muros y recubiertas con 30 mm o más de mortero o concreto lanzado. Con esta técnica se pueden esperar incrementos en resistencia, rigidez y capacidad de deformación originales superiores al 50, 20 y 100 por ciento, respectivamente.

Para lograr un comportamiento monolítico del encamisado con la mampostería existente, es indispensable retirar todo recubrimiento del muro y, en caso de muros dañados, los fragmentos y piezas sueltas de la superficie de la mampostería, limpiar el polvo y las partículas en el interior de las grietas mediante chorro de agua. La malla electrosoldada se debe fijar al muro, mediante conectores separados entre sí no más de 45 cm. Para luego recubrirla con una capa de mortero tipo I de por lo menos 15 mm de espesor.

Las mallas deben rodear a los castillos, traslapando la malla en forma de U que rodeará el castillo con las mallas sobre el muro. Las mallas deben ser continuas en muros ortogonales, en los cambios de dirección conviene incrementar el número de conectores. Las mallas deben rodear las aberturas en los muros.

El mortero se puede colocar manualmente o bien con dispositivos neumáticos (lanzado), siguiendo los procedimientos recomendados para concreto lanzado.

Es conveniente una supervisión estricta en la construcción de estos muros, para asegurar que el anclaje de la malla haya sido colocada de manera adecuada.

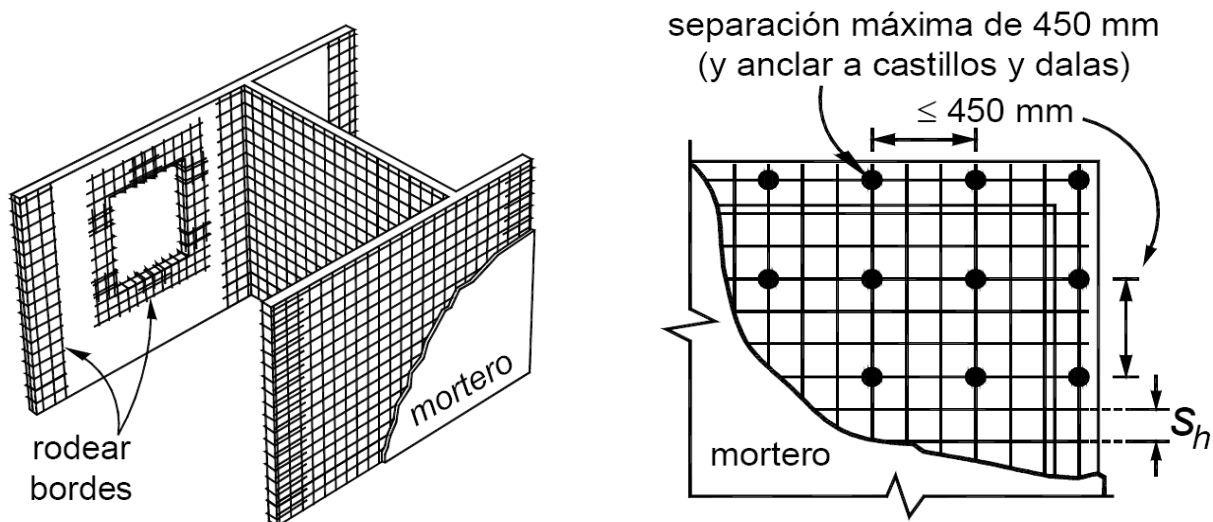


Figura 3.7 Refuerzo con malla de alambre soldado y recubrimiento de mortero (Fuente: NTCM, 2005; 707).

3.3.7.- Refuerzo con fibra de vidrio.

Velázquez et al. (2006), mencionan que el empleo de materiales compuestos para refuerzo y rehabilitación de estructuras de mampostería ha crecido en las últimas décadas, éstos surgen en la industria área y espacial, y en la segunda guerra mundial se inició la utilización de estos materiales en la construcción.

Las fibras de vidrio son filamentos largos y continuos, tienen alta resistencia a la tensión en su dirección longitudinal y muestran un comportamiento elástico lineal hasta la falla, que al combinarse con una resina que puede ser poliéster, vinilester y epoxica, distribuye la carga a las fibras y las protege del medio ambiente. Esta combinación da como resultado el material compuesto denominado GFRP.

De acuerdo a las pruebas experimentales de Velázquez et al. (2006), el proceso para el reforzamiento de muros de mampostería, es el cepillar la zona de éstos a reforzar para eliminar partículas sueltas, la eliminación de polvo mediante una brocha, marcar la zona a reforzar, aplicar una capa de resina, dejar secar y aplicar otra capa de resina para finalmente colocar la fibra de vidrio fijándola con resina. De acuerdo con dicho estudio se logró incrementar hasta en un 186% la resistencia máxima a cortante de los muros. Los mejores resultados se obtienen cuando la fibra de vidrio se coloca en posición diagonal y cubre una superficie del 60% del área del muro. Las principales ventajas de esta técnica son su fácil aplicación, que no se adiciona peso extra a la estructura y que la rehabilitación de la estructura es rápida, pues tarda sólo 24 horas en endurecer.



Figura 3.8 Muros de mampostería con fibra de vidrio (Fuente: Velázquez et al., 2007)

3.3.8.- Refuerzo metálico en las juntas.

Sánchez et al. (2007), menciona que en muros sujetos a carga gravitacional y sísmica existen tres tipos de fallas locales deslizamiento de la junta,

agrietamiento de la pieza y aplastamiento en los apoyos, en la mayoría de los casos se presentan al menos dos tipos, predominando la combinación de la primera y segunda.

El deslizamiento de la junta se presenta en muros con piezas macizas fuertes y mortero débil, las grietas de tensión diagonal existen en muros de piezas débiles pegados con morteros de alta resistencia y para su propagación es necesario el agrietamiento vertical del mortero.

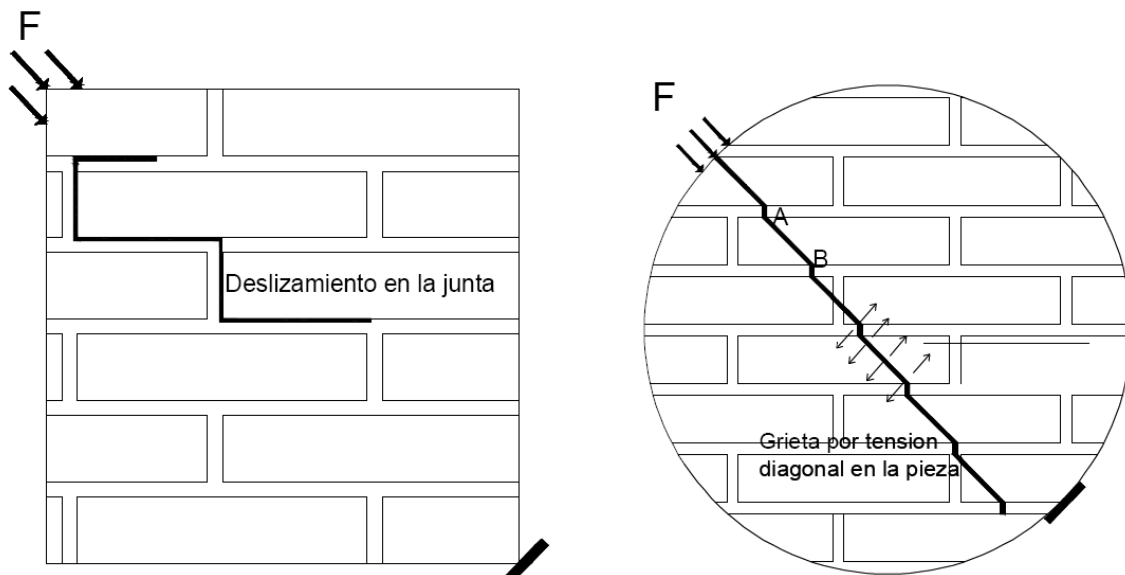


Figura 3.9 Fallas por deslizamiento y tensión diagonal en muros de mampostería (Fuente: Sánchez et al., 2007)

Para reducir el deslizamiento, una alternativa es colocar una malla metálica en las juntas horizontales y verticales de las zonas donde se presentan los mayores esfuerzos.

En estudios realizados por Sánchez et al. (2007), para eliminar el deslizamiento de la interfase mediante la colocación de una malla metálica en las juntas horizontales y verticales sin modificar su espesor, la separación entre hilos

de la malla debe ser suficiente para garantizar el paso del mortero y la adherencia entre ambos elementos evitando la presencia de un plano de falla, el anclaje del sistema es el doblar en las juntas verticales donde se generan llaves de cortante, este sistema induce un mecanismo de falla por agrietamiento de las piezas, el cual aporta una magnitud mayor del cortante resistente. La eficiencia está determinada por la ubicación del refuerzo respecto a las zonas potenciales de agrietamiento próximas a la diagonal, además, se intenta distribuir de modo uniforme las grietas y agregar las zonas originalmente sin daño al resto del muro que resisten la carga lateral. Con este método la resistencia a compresión de la mampostería se incrementó alrededor de un 15% y de un 75% en la resistencia a cortante.

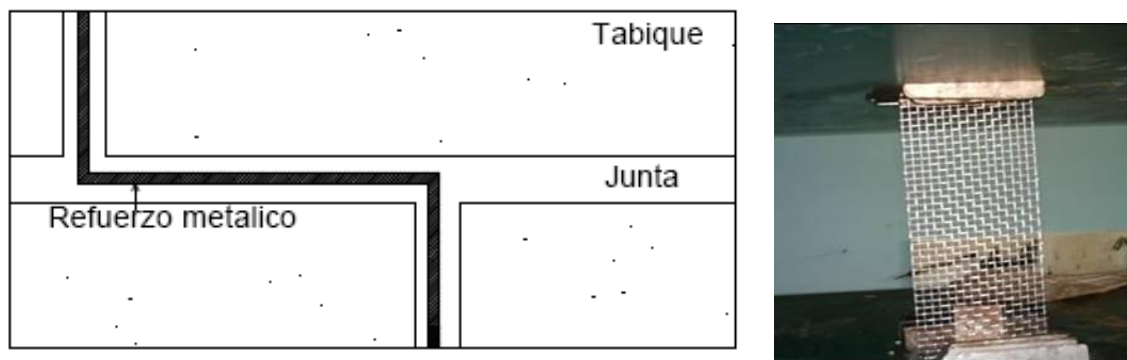


Figura 3.10 Refuerzo metálico en juntas de mortero (Fuente: Sánchez et al., 2007)

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología que se utilizó en la presente investigación, dando como resultado que el método empleado fue el matemático-analítico, también se describe el enfoque y el alcance de la investigación, el diseño de la misma, así como los instrumentos de recopilación de datos y la descripción del proceso de la investigación.

4.1.- Método empleado.

Mendieta (2005), menciona que existen diferentes métodos de investigación, y un método se puede definir como el modo de hacer con orden una determinada tarea, la forma de conducir al pensamiento con objeto de llegar a un resultado determinado.

Según Mendieta (2005), el método matemático es un procedimiento en el que se comparan cantidades para obtener nociones derivadas, de importancia, valor económico y capacidad. Éste método utiliza los números, factores y variables, relacionando los números entre sí para comprobar o negar las hipótesis o teorías. En este proyecto de investigación de acuerdo con lo anterior se utiliza el método matemático, pues se trabaja con números y fórmulas.

Otro método utilizado es el método analítico, en el cual, en conformidad con Jurado (2005), éste se basa en la observación de las causas, la naturaleza y los

efectos de un fenómeno, con lo cual se puede revisar ordenadamente y por separado.

4.2.- Enfoque de la investigación.

Hernández et al. (2008), señala que existen dos tipos de enfoques, el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo. El primero se basa en la recolección de datos para probar hipótesis, utilizando la medición numérica y el análisis estadístico dando así los patrones de comportamiento y así comprobar o refutar las teorías.

Algunas de las características del enfoque cuantitativo son:

- Plantea un problema de estudio delimitado y concreto.
- La realidad no cambia por las observaciones y mediciones realizadas.
- Busca ser objetivo.
- El investigador hace a un lado sus valores y creencias.
- Deriva hipótesis sobre la teoría en estudio.
- Somete a prueba las hipótesis.
- Recolecta datos numéricos y se estudia y se analiza mediante procedimientos estadísticos.

El enfoque cualitativo por otra parte utiliza la recolección de datos sin medición numérica con el objetivo de descubrir o mejorar las preguntas de investigación en el proceso de interpretación.

En este proyecto de investigación se utilizó el enfoque cuantitativo ya que se tiene cierto control y magnitud de los fenómenos investigados, así éstos mismos fueron especificados y delimitados. La recolección de los datos se basó en la medición y el análisis de resultados.

4.2.1.- Alcance de la investigación.

Hernández et al. (2008), menciona tres tipos principales de alcances o investigaciones los cuales son:

- Estudios exploratorios
- Estudios descriptivos
- Estudios correlacionales o explicativos

Estos tipos de investigación dependen de diferentes factores como son, la estrategia de investigación, el diseño, los procedimientos y componentes del proceso de estudio. Hernández et al. (2008), señala que los estudios exploratorios anteceden a las investigaciones con alcances descriptivas y éstas a su vez proporcionan la información para llevar a cabo estudios explicativos.

En el presente proyecto se utilizó un estudio descriptivo, ya que en éstos se describen fenómenos, situaciones y hechos, con la finalidad de especificar las propiedades, características y perfiles de cualquier fenómeno sometido a análisis, como en el presente trabajo.

4.3.- Diseño de la investigación.

De acuerdo con Hernández et al. (2008), existen dos tipos de diseño en una investigación, experimental y no experimental. En la investigación experimental, se realizan pruebas para observar las reacciones y obtener resultados. En las pruebas se manipulan de manera intencional, las variables independientes, causas y así analizar las reacciones sobre las variables dependientes, efectos.

La investigación no experimental se basa en la observación de los fenómenos tal y como se dan naturalmente para después analizarlos, en este tipo de investigaciones no se crean situaciones, sino que se parte de las ya existentes y por lo tanto no se tiene control sobre las variables independientes por lo que no se puede influir sobre ellas, pues solo suceden al igual que sus efectos.

Esta investigación es no experimental, ya que no se realizaron experimentos, si no que se partió de situaciones ya existentes con el propósito de observar el comportamiento de las variables.

4.4.- Instrumentos de recopilación de datos.

Para la recopilación de datos existen diversos tipos para una investigación como son, la investigación documental, la investigación de campo, la observación y la utilización de software como apoyo para el proceso de cálculos y así agilizar las pruebas en estudio.

En la presente investigación se utilizó la investigación documental, ya que la información es de diversas fuentes bibliográficas, así como de artículos de los

cuales se obtuvieron los datos necesarios para poder comprender lo necesario del fenómeno en estudio y así dar una solución a éste.

4.5.- Descripción del proceso de investigación.

En esta investigación partió del conocimiento de un fenómeno ya conocido y con el fin de dar una solución a éste, se recopiló la información necesaria para poder describir cada parte que compone dicho fenómeno.

En el primer capítulo se da el concepto de mampostería, se menciona un poco de la historia de éste, después se describen los tipos de mampostería que existen actualmente, así como las características y propiedades que tienen como son, la resistencia y peso volumétrico.

En el segundo capítulo se menciona la estructuración de las viviendas en México, empezando por los tipos de cimentación que se utilizan, continuando con los sistemas de piso y finalmente se habla de los muros de mampostería en los que se encuentran los muros diafragma, confinados, reforzados y no reforzados.

En el tercer capítulo se comienza por comprender cuales son los tipos de daños que se presentan comúnmente en estructuras de mampostería, para después describir los pasos que se deben de seguir en la forma de evaluar edificaciones, también se habla de algunas de las pruebas que se realizan para medir la resistencia de los muros de mampostería. Por último sabiendo cuales son los daños y la manera de evaluarlos se mencionan algunas de las técnicas utilizadas para la rehabilitación de las de éstas estructuras.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a lo mencionado en los capítulos anteriores, la mampostería es uno de los materiales de construcción más antiguos utilizados por el hombre, que generalmente es un procedimiento artesanal tanto en la fabricación de piezas como en los procesos constructivos.

Este tipo de estructuras son muy utilizadas en México, en donde las construcciones de muros de mampostería de mediana y baja altura son muy populares y bastante deseables desde el punto de vista económico. Un alto porcentaje de la población utiliza en sus construcciones este tipo de material.

A pesar de su gran uso, existe un mínimo de tecnología y de control de calidad en la fabricación de las piezas de mampostería, así como en los procesos de construcción, esto ocasiona que en un gran número de viviendas se observen daños ante las cargas que derivan del funcionamiento propio de la estructura o ante la ocurrencia de un sismo, que es otro aspecto importante ya que el país está situado en un región altamente sísmica.

5.1 Formato para la captura de datos.

Por lo mencionado anteriormente se ha considerado necesario realizar una propuesta para la clasificación de daños y selección de técnicas de reparación para estructuras de mampostería.

La propuesta cuenta con un formato para recabar información importante de la estructura a evaluar. A continuación se describe el formato de captura de datos, explicando cada uno de los campos a registrar con el fin de aclarar dudas que puedan surgir sobre la información que se está pidiendo en cada caso.

5.1.1 Información General.

Éste está conformado por lo que son los datos generales, como ubicación de la estructura, tipo de construcción, tipo de materiales, entre otros datos que servirán para llevar un registro y control de las viviendas y formar una base de datos con la cual se puedan identificar los inmuebles en estudio.

5.1.2 Aspectos geométricos.

La geometría de una estructura debe ser regular y sencilla en planta como en elevación, pues las formas complejas, irregulares o asimétricas causan un mal comportamiento ante las acciones a las que vaya a estar sometida.

Regularidad de la estructura, se evaluará tanto en planta como en elevación la regularidad de la estructura, pues una vivienda simétrica, bien construida, resiste mejor la acción de los sismos. Las viviendas con formas alargadas y angostas donde el largo de ésta es mayor a 3 veces su ancho y la altura es mayor a 2.5 su ancho, causan un mal comportamiento ante la ocurrencia de un sismo.

Irregularidad geométrica, se deberá definir la irregularidad que presenta el edificio en planta, se dirá que es irregular si ésta presenta salientes

importantes que de una forma de letras “L”, “H”, “T”, “Y”, “X”, o cualquier otra forma irregular (Ver anexo A).

A continuación se muestra una imagen con algunas formas geométricas irregulares.

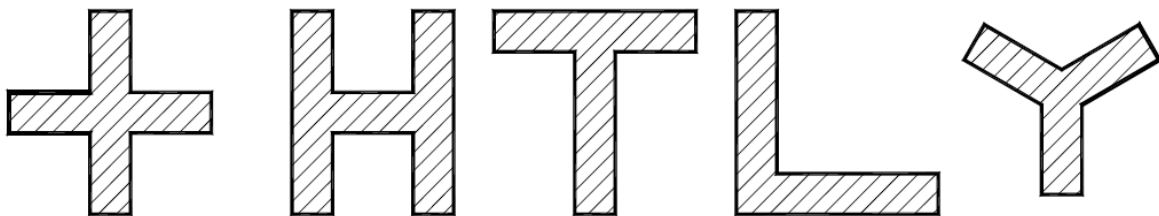


Figura 5.1 Plantas de geometría irregular (Fuente: <http://www.cenapred.gob.mx>, 2011)

Cambios geométricos, aquí se definirá que tantos cambios o modificaciones se han realizado a la estructura, ya que una estructura con muchas modificaciones provoca que tenga un mal comportamiento ante las cargas que se presenten.

Nivelación del terreno, la pendiente del terreno es otro aspecto importante para evaluar la vulnerabilidad sísmica de una estructura, ya que si la topografía donde se encuentra ésta tiene un ángulo mayor a 30° , su vulnerabilidad será alta, pues al presentarse un sismo puede causar deslizamientos y arrastrar a la vivienda.

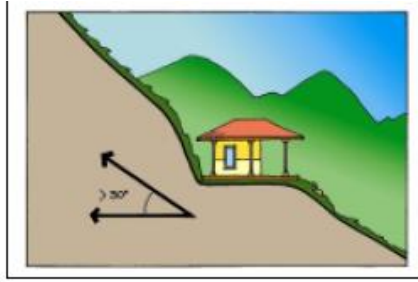


Figura 5.2 Vulnerabilidad sísmica alta por la pendiente del terreno (Fuente: <http://www.asosismica.org>, 2011).

Densidad de muros, para que una edificación tenga una baja vulnerabilidad sísmica deberá contar con al menos la longitud mínima de muros en las dos direcciones, para esto se apoyará en las siguientes tablas, las cuales proponen curvas de densidad de muros.

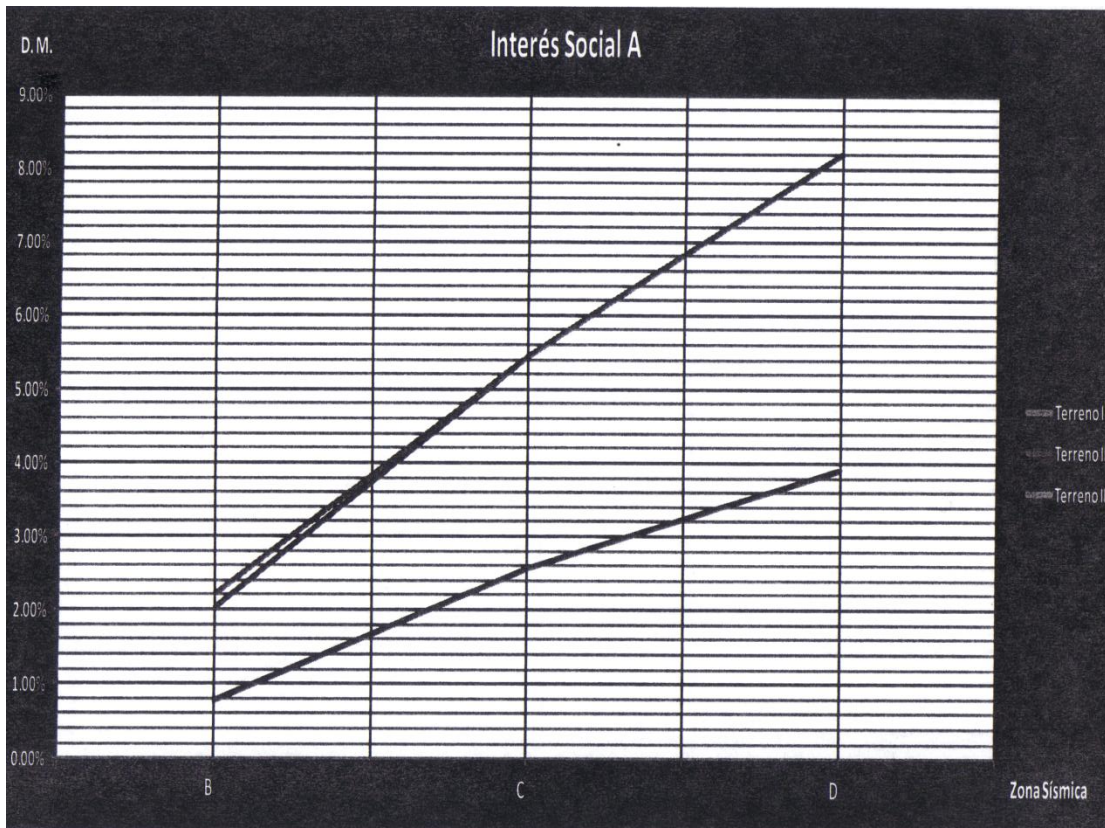


Figura 5.3 Curvas de densidad de muros para casas de interés social grupo A (Fuente: Murillo Zarco, 2010; 111).

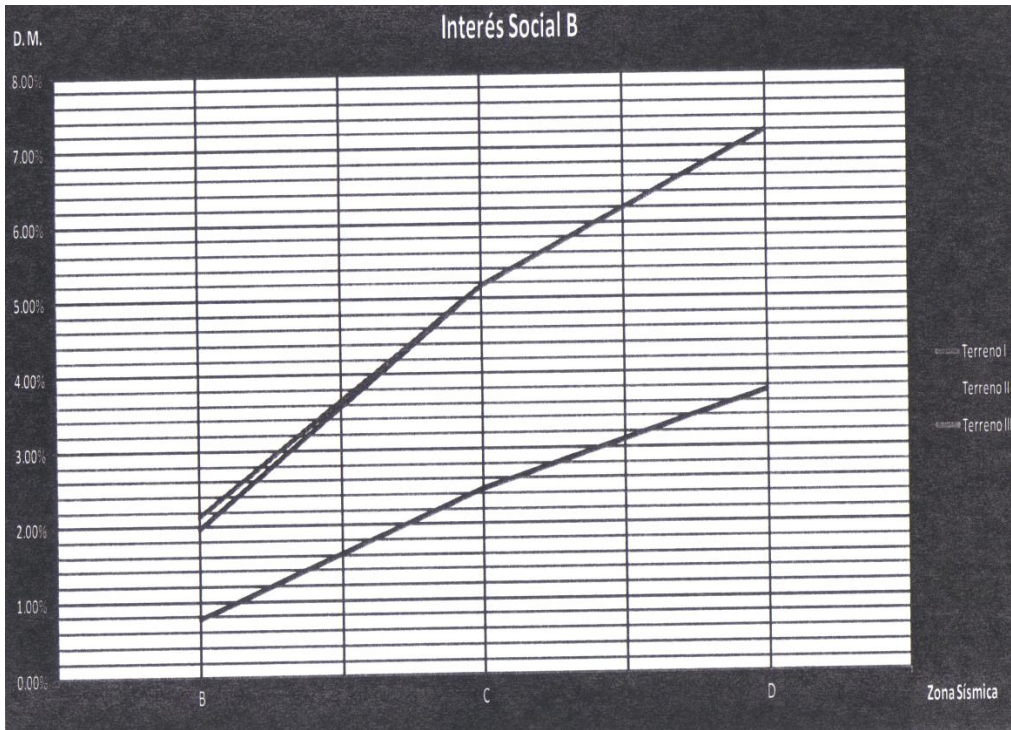


Figura 5.4 Curvas de densidad de muros para casas de interés social grupo B (Fuente: Murillo Zarco, 2010; 112).

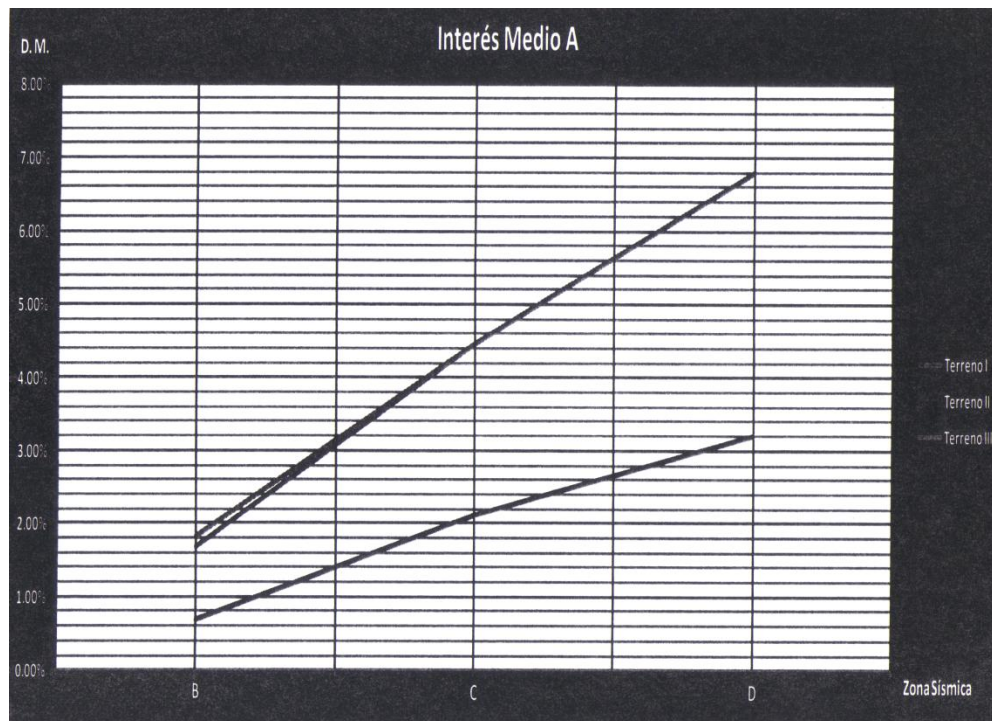


Figura 5.5 Curvas de densidad de muros para casas de interés medio grupo A (Fuente: Murillo Zarco, 2010; 113).

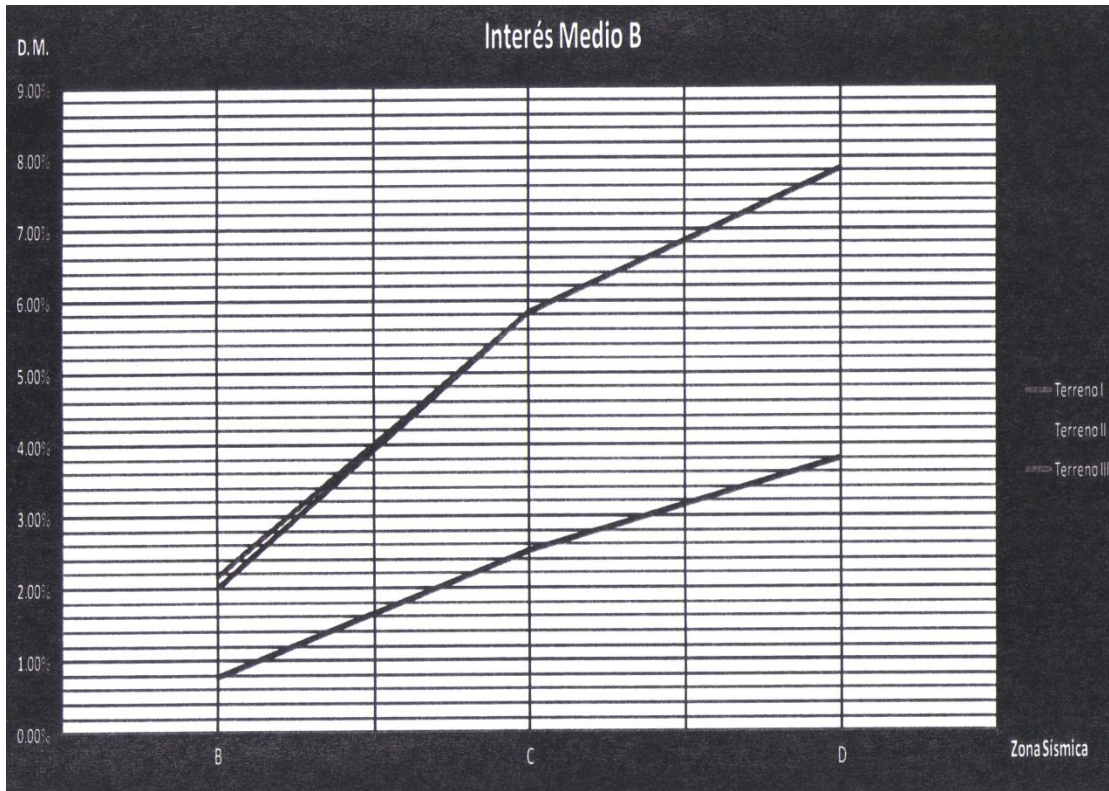


Figura 5.6 Curvas de densidad de muros para casas de interés medio grupo B (Fuente: Murillo Zarco, 2010; 114).

Interés Social A			Interés Social B		
Zona	Terreno	F_{AE} Prom	Zona	Terreno	F_{AE} Prom
B	I	0.6502	B	I	0.7108
	II	0.8217		II	0.852
	III	0.8329		III	0.8611
C	I	0.8498	C	I	0.8766
	II	0.9227		II	0.9346
	III	0.9227		III	0.9346
D	I	0.8965	D	I	0.9131
	II	0.947		II	0.9832
	III	0.947		III	0.9832

Figura 5.7 Factor de reducción por esbeltez para casas de interés social (Fuente: Murillo Zarco, 2010; 115).

Interés Medio A			Interés Medio B		
Zona	Terreno	F _{AE} Prom	Zona	Terreno	F _{AE} Prom
B	I	0.9132	B	I	0.7669
	II	0.9620		II	0.8938
	III	0.9648		III	0.9008
C	I	0.9698	C	I	0.9126
	II	0.9854		II	0.9563
	III	0.9854		III	0.9563
D	I	0.9798	D	I	0.9398
	II	0.9904		II	0.9696
	III	0.9904		III	0.9696

Figura 5.8 Factor de reducción por esbeltez para casas de interés medio (Fuente: Murillo Zarco, 2010; 115).

Se deberá conocer el tipo de casa, interés social o interés medio, el grupo al que pertenecen ya sea grupo A o grupo B, el tipo de terreno I, II o III y la zona sísmica. Con estos datos se entra en las gráficas y tablas propuestas, para obtener la Densidad de Muros (DM) y el Factor de Reducción de Esbeltez (FAE_{prom}), para aplicar la ecuación siguiente:

$$L_{req} = \frac{DM(A_p)}{FAE_{prom} * t}$$

Donde:

DM: Densidad de muros

A_p: Área de la planta baja

FAE_{prom}: Factor de reducción de esbeltez

t: Espesor del muro

L_{req}: Longitud requerida de muros

5.1.3 Aspectos constructivos.

Calidad de los materiales, se deberá medir la resistencia de los materiales con alguno un método, como los mencionados en el capítulo 3, para comparar la resistencia que presentan con la resistencia que exigen los reglamentos y normas de construcción y de esta forma dar una calificación a los materiales buena, regular o mala.

Calidad de la construcción, aquí se deberá identificar que la edificación se haya construido de acuerdo a las especificaciones que marcan los reglamentos y normas de construcción, como que la disposición de las unidades de mampostería estén colocadas formando una trabazón entre ellas, que estén colocadas de manera uniforme y continua hilada tras hilada, esto hará que la estructura tenga un mejor comportamiento ante las cargas que soporte o se puedan presentar.

5.1.4 Aspectos estructurales.

Tipos de muros, la mampostería confinada es aquella que esta reforzada con elementos de concreto reforzado verticales y horizontales, denominados como castillos y dalas respectivamente, y deberá contar con los ocho requisitos que marca las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (Ver anexo B y D).

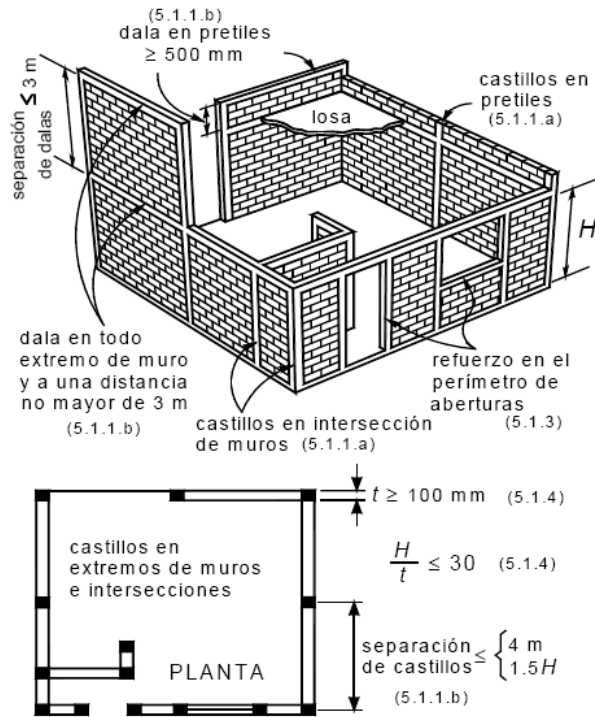


Figura 5.9 Requisitos para mampostería confinada. (Fuente: NTCM, 2005; 711)

También se deberá identificar el estado de los muros, si éstos están agrietados, el tipo de grietas que se encuentran, así como el tamaño de las mismas tomando en cuenta la tabla 3.1 de esta investigación, la cual nos da una clasificación del daño de los muros en función del tamaño de las grietas, todo esto podrá indicar que las produce, ya sea por asentamientos diferenciales, cargas puntuales, por aberturas, contracciones térmicas, entre otras.

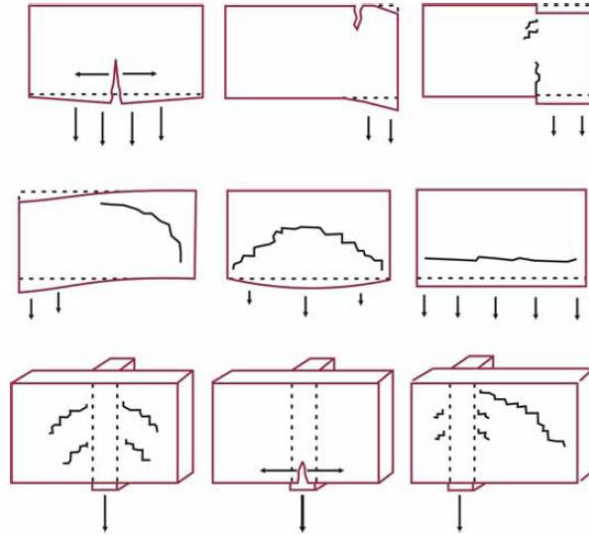


Figura 5.10 Tipo de agrietamientos en muros (Fuente: <http://www.ceramicaroja.com>, 2011).

Trabes, se deberá revisar el estado que presentan las trabes como agrietamientos, deformaciones desprendimiento de concreto, así como que cumplan con las dimensiones y el acero de refuerzo mínimo que exige el Reglamento de Construcciones para decidir si son adecuadas o no.

Columnas, se deberá revisar el estado que presentan las columnas como agrietamientos, deformaciones desprendimiento de concreto, así como que cumplan con las dimensiones y el acero de refuerzo mínimo que exige el Reglamento de Construcciones para decidir si son adecuadas o no (Ver anexo C).

Tipo y estado de la losa, se identificará el sistema de piso con el que cuenta la edificación, de igual forma se revisarán los daños que presente como agrietamientos o deflexiones para definir en qué estado se encuentra ya sea bueno, regular o malo.

Tipo y estado de la cimentación, se deberá identificar el material como el tipo de cimentación con el que cuenta la vivienda, al igual que los daños que

presente como agrietamientos o hundimientos para definir en qué estado se encuentra la cimentación.

5.1.5 Aspectos geográficos y geológicos.

Existencia de edificio crítico, los edificios que rodean a la estructura en evaluación pueden tener influencia en su comportamiento o en algunos casos afectar directamente de manera desfavorable en su vulnerabilidad, por ello es necesario conocer de manera muy general las estructuras colindantes que se consideren de mayor relevancia para el comportamiento o la seguridad de la estructura en observación.



Figura 5.11 Vivienda afectada por estructura colindante (fuente: propia).

Región sísmica, se asignará un tipo de región A, B, C y D de acuerdo al manual de diseño de obras civiles, de la Comisión de Federal de Electricidad. Pues con esto se medirá el nivel de peligro sísmico en el que se encuentra situada la estructura.

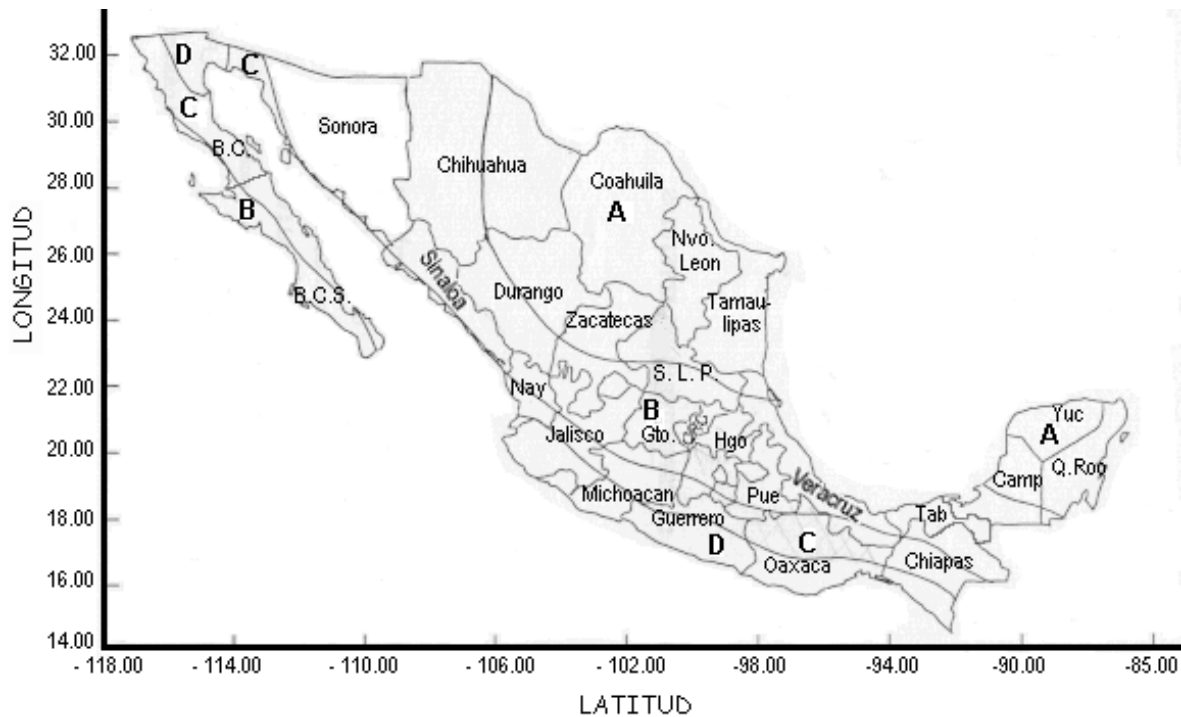


Figura 6.12 Regionalización sísmica de la República Mexicana (Fuente: <http://www.construaprende.com>, 2011).

Tipo de suelo, se clasificara el terreno donde se ubica la estructura siguiendo la clasificación de acuerdo a la siguiente página <http://redgeomatica.rediris.es> (2011), en la que se distinguen tres clases:

- Suelo duro: dolomía, cuarcita, mármol.
- Suelo intermedio: limos y arenas, limos, margas y areniscas, conglomerado y arenas, areniscas.
- Suelo blando: aluvión, arcilla, arena, marga y relleno, yeso.

Existencia de falla geológica, se deberá investigar en cartas geológicas si dentro de la ubicación de la estructura hay existencia de alguna falla geológica, pues éstas afectan directamente el comportamiento de las estructuras.

Tipo de clima, el tipo de clima influye en las estructuras en los cambios volumétricos de los materiales, ya que si se encuentran en zonas con temperaturas muy elevadas o muy bajas harán que los materiales de la vivienda se expandan o contraigan produciendo en ellos agrietamientos.

Existencia de ríos, las edificaciones que se encuentran cerca de las riberas de los ríos o planicies inundables, pueden causar deslizamientos provocan daño a las viviendas.

5.2 Formato para la captura de datos.

A continuación se presenta la propuesta del formato para recabar información de las estructuras de mampostería.

Información General						
Ubicación:	_____					
Tipo de construcción:	_____					
Estructuración:	_____					
Edad de la construcción:	_____					
Estado general:	_____					
Tipo de materiales:	_____					
	Tabique	_____	Tabicón	_____	Adobe	_____
Aspectos Geométricos						
Regularidad de la construcción:						
Relación	L/B < 2	_____	2 < L/B < 3	_____	L/B > 3	_____
		(1 a 2)		(3 a 5)		(6 a 10)
Relación	H/B < 1.5	_____	1.5 < H/B < 2.5	_____	H/B > 2.5	_____
		(1 a 2)		(3 a 5)		(6 a 10)
Irregularidad geométrica						
Planta	Regular	_____	Irregular	_____		
		(1 a 3)		(4 a 6)		
Cambios geométricos	Sin cambios	_____	Pocos cambios	_____	Muchos cambios	_____
		(1 a 2)		(3 a 5)		(6 a 10)
Nivelación del terreno						
α de la topografía	α < 20°	_____	20° < α < 30°	_____	α > 30°	_____
		(1 a 2)		(3 a 5)		(6 a 10)
Densidad de muros	Adecuada	_____	No adecuada	_____		
		(1 a 3)		(4 a 10)		
Aspectos constructivos						
Calidad de los materiales						
	Buena	_____	Regular	_____	Mala	_____
		(1 a 2)		(3 a 4)		(5 a 6)
Calidad de la construcción						
	Buena	_____	Regular	_____	Mala	_____
		(1 a 2)		(3 a 4)		(5 a 6)

Aspectos estructurales

Tipos de muros	Confinados	_____	No Confinados	_____
		(1 a 4)		(5 a 8)
Existencia de grietas	Sí	_____	No	_____
		(1 a 5)		(0)
Tipo de grietas	Diagonal	_____	Horizontal	_____
			Vertical	_____
Tamaño de grietas en muros confinados	< 0.2mm	_____	0.2 < y < 1mm	_____
		(1)		(2 a 4)
			1 < y < 3mm	_____
				(5 a 7)
			> 3mm	_____
				(8 a 10)
Tamaño de grietas en muros sin confinamiento			< 1mm	_____
				(1 a 5)
			> 1mm	_____
				(6 a 10)
Cantidad de muros dañados	1	_____	2 a 4	_____
		(1 a 2)		(3 a 5)
			más de 4	_____
				(6 a 10)
Trabes	Adecuadas	_____	No Adecuadas	_____
		(0 a 2)		(3 a 6)
Columnas	Adecuadas	_____	No Adecuadas	_____
		(0 a 2)		(3 a 6)
Tipo de losa	Maciza	_____	Aligerada	_____
			Prefabricada	_____
Estado de la losa	Buena	_____	Regular	_____
		(1 a 2)		(3 a 4)
			Mala	_____
				(5 a 6)
Material de la cimentación	Concreto	_____	Mampostería	_____
Tipo de cimentación	Zapatas aisladas	_____	Zapatas combinadas	_____
			Zapatas Corridas	_____
*Sí marcó zapata corrida	Bajo Columna	_____	Bajo muro	_____
Estado de la cimentación	Buena	_____	Regular	_____
		(1 a 2)		(3 a 4)
			Mala	_____
				(5 a 6)

Aspectos Geográficos y Geológicos	
Existencia de edificio crítico	Sí <u> </u> (1 a 5) No <u> </u> (0)
Región sísmica (CFE)	A <u> </u> (0) B <u> </u> (2) C <u> </u> (5) D <u> </u> (10)
Tipo de suelo	Duro <u> </u> (1 a 2) Intermedio <u> </u> (3 a 4) Blando <u> </u> (5 a 8)
Existencia de falla geológica	Sí <u> </u> (1 a 5) No <u> </u> (0)
Tipo de clima	Frío <u> </u> (2 a 4) Templado <u> </u> (0 a 2) Caliente <u> </u> (2 a 5)
Existencia de ríos	Sí <u> </u> (1 a 5) No <u> </u> (0)

5.2.1 Llenado del formato.

El llenado del formato se realizará durante la inspección de la vivienda dañada, la persona que realiza la inspección deberá asignar un valor a cada aspecto que se pide, de acuerdo a su criterio y experiencia tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, estos valores deberán estar dentro de los rangos que marca dicho formato.

Al finalizar la inspección y el llenado del formato se realizará la suma de los valores asignados a cada campo, si la suma da un valor entre 17 y 56 se considerará que la vivienda tiene un daño Leve, si la suma da un valor dentro de 56 y 95 se considerará que el daño es Moderado, si la suma se encuentra dentro

de 95 y 134 la estructura tendrá un daño Severo y si la suma es mayor a 134 su daño será Muy Grave (Ver anexo E).

5.2.2 Daño leve (17 a 56).

Para un daño leve de la estructura, las intervenciones que se realizarán serán reparaciones cosméticas, como mejorar la apariencia estética de un muro aplicando algún material de reparación sobre la superficie de éste para ocultar la proyección de las grietas, éstos pueden ser pintura o papel tapiz. Reparación de juntas de mortero que consisten en remover el mortero deteriorado de las juntas de mampostería y reemplazarlo con un mortero nuevo. Otra intervención es la reparación de grietas mediante la inyección de materiales epóxicos para mejorar la adherencia de entre las piezas de mampostería. Se debe buscar influir lo mínimo posible en el comportamiento de la estructura buscando la solución más económica.

5.2.3 Daño moderado (56 a 95).

Si la vivienda se clasifica como daño moderado, se harán reparaciones en elementos estructurales, pues éstos han sido afectados medianamente en su capacidad para resistir carga. La reparación de grietas de los muros tendrá que hacerse mediante la inyección de lechada de cemento, ésta deberá tener al menos la misma adherencia que el mortero original para garantizar la resistencia y rigidez del muro. Otra solución para la reparación de las grietas es el grapado de estas siguiendo lo indicado en el capítulo 3 de esta investigación. A los elementos estructurales de concreto o de mampostería que se les han desprendido

pequeñas secciones, se podrán reemplazar mediante la incorporación de algún material adecuado, que tenga propiedades similares al material original tanto térmicas como estructurales. El material y el procedimiento de incorporación dependerán del tamaño, localización y material de la rotura.

5.2.4 Daño severo (95 a 134).

Si la clasificación es un daño severo, la capacidad estructural de la construcción ha sido afectada significativamente, lo que implicará una intervención amplia, con reemplazo o refuerzo de algunos elementos. Como el reemplazo de barras de refuerzo afectadas por los daños, el reemplazo parcial de muros, que deberá realizarse de manera que las nuevas piezas de mampostería se empalmen con las ya existentes y lograr una buena continuidad del muro.

La reparación de elementos de confinamiento que estén afectados de manera importante deberán someterse a una reparación estructural, que consiste en el retiro de la totalidad del concreto fisurado dejando al descubierto el acero de refuerzo para identificar si ha sido afectado y reemplazarlo, y posteriormente colar la parte del elemento que fue retirado.

En base a la configuración de las grietas que presentan los muros estos podrán ser reparados y rehabilitados. Si las grietas son de forma vertical sobre el muro, se podrá reparar insertando castillos en lo que es la grieta. En las grietas de forma horizontal, se deberán colocar elementos que liberen de carga al muro como son marcos.

Se deberá determinar en las grietas que se presentan en forma diagonal, que las está ocasionando si son por esfuerzos por cortante o por asentamientos de la vivienda. Si son generadas por esfuerzos por cortante las grietas podrán ser reparadas con algún método como los mencionados anteriormente y se revisará que la estructura cuente con la longitud adecuada de muros en las dos direcciones, si no es así los muros deberán ser reforzados mediante el encamisado con mallas metálicas o con fibra de vidrio tomando en cuenta lo mencionado en el capítulo 3 de esta investigación.

Si las grietas son ocasionadas por asentamientos se deberá determinar si éstos ya se detuvieron o son asentamientos progresivos, si los asentamientos de la vivienda ya se han detenido, las grietas podrán ser reparadas con algún método como los ya mencionados y además los muros deberán ser reforzados para darles resistencia, el refuerzo dependerá del estado éstos si solo requieren grapas, o mediante la inserción de barras de refuerzo, encamisado con mallas metálicas o refuerzo con fibras de vidrio.

Si las grietas son por asentamientos progresivos se debe revisar el estado de la cimentación, si ésta puede ser reparada, o si es inadecuada o no existe se deberá recimentar la estructura, además de reparar las grietas y reforzar los muros como ya se mencionó anteriormente.

5.2.5 Daño muy grave (mayor de 134).

Si la estructura se clasifica como daño muy grave, se tendrá que hacer una comparativa entre los costos de ser rehabilitada y reforzada con alguno de los

métodos descritos anteriormente y evaluar la eficiencia estructural que se obtendría con éstos, con el costo de demoler y reconstruir la vivienda de acuerdo a los reglamentos y normas de construcción. Pues si se desea rehabilitar se tendría que sustituir los elementos más dañados, así también rehabilitar y reforzar los que hayan sufrido menos daños, por lo que el costo dependerá de qué porcentaje de elementos de la vivienda estén dañados y que técnica se utilizará para reforzarla y aun así con todo esto no se cansaría el 100 % de su resistencia original, por lo que se tendría que considerar demoler y reconstruir tomando en cuenta todos los aspectos que influyen en su resistencia y su vulnerabilidad.

5.3 Comentarios finales.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente el presente trabajo puede constituir una herramienta útil como guía, para la clasificación y evaluación de daños, así como la selección de técnicas de reparación para estructuras de mampostería, pues para hacer una buena evaluación de una estructura dependerá en gran parte del conocimiento de los reglamentos y normas de construcción así como de todas las características importantes que influyan y afecten su comportamiento estructural, otro aspecto importante es la experiencia y el criterio de la persona que realizará la evaluación, no obstante se considera que se debe seguir trabajando en el perfeccionamiento del mismo en todos sus aspectos que permitan convertir la investigación en una herramienta de trabajo.

CONCLUSIÓN

En la presente investigación se abordó el tema de la mampostería como son su origen, los tipos y propiedades de la misma, de igual forma se mencionó la estructuración de las viviendas de mampostería en México y finalmente se habló de la evaluación de daños y diferentes técnicas de rehabilitación para mampostería.

Todo esto con el fin de proponer un procedimiento para la clasificación de daños y la selección de técnicas de reparación para estructuras de mampostería, y así de esta manera cumplir con el objetivo general de esta investigación, lo cual se logró con la elaboración de un manual y un formato.

Los objetivos particulares se fueron cumpliendo con el desarrollo de la investigación, para el primero se determinaron los tipos de mampostería, que se dividen en dos grupos: la mampostería de piedras naturales que son aquellas piezas que se utilizan tal y como se presentan en la naturaleza o se les hace un ligero labrado y se clasifican en tres grupos: mampostería de primera, mampostería de segunda y mampostería de tercera. El otro grupo son la mampostería de piedras artificiales que son piezas fabricadas por el hombre, que generalmente son de forma rectangular y pueden ser de diversos materiales, entre los que destacan el barro, la arcilla y el concreto. La mampostería de piedras artificiales puede ser de dos tipos, de piezas macizas y piezas huecas.

Para el siguiente objetivo se identificó lo que es un mortero, que son mezclas plásticas que resultan de combinar arena, agua y algún material cementante como pueden ser cemento, cal o una mezcla de estos dos materiales, esta mezcla es esencial en la construcción ya que es el material con que se pegan los bloques de mampostería y se rellenan los espacios que quedan entre las piezas.

Las deficiencias más comunes en la fabricación de muros de mampostería son la falta de elementos de confinamiento en las aberturas, el uso de piezas de mampostería de mala calidad, uso de mortero de características muy pobres, muros desplomados. Un gran número de las edificaciones presentan muros no confinados ni reforzados y aunque cuentan con dadas y castillos estos no cumplen con en su totalidad con los requisitos establecidos en los reglamentos para ser considerados como mampostería confinada. Estas deficiencias en la fabricación de muros son ocasionadas en gran parte por las personas que recurren a la autoconstrucción que tienen poco o nulo conocimiento del comportamiento estructural.

Por lo anterior las construcciones cuentan con un sistema estructural inadecuado que presentan un comportamiento deficiente ante un sismo o las cargas que derivan del funcionamiento propio de la vivienda. Por esta razón los daños más comunes que se presentan en viviendas estructuradas con muros de mampostería son daños tales como agrietamientos, hundimientos, desplomes de muros o deflexiones excesivas en losas y trabes.

En la inspección de la condición estructural de una vivienda se debe realizar una revisión visual de la estructura dañada con la finalidad de identificar el sistema estructural y el daño que presentan sus elementos, así como sus posibles causas. Para esto, es necesario recabar información importante sobre la construcción como: el uso de la estructura, la edad de la construcción, su ubicación y tipo de suelo, su sistema estructural, tipo de cimentación, materiales utilizados.

Para la evaluación de una estructura, es importante contar con planos arquitectónicos y estructurales. De no existir, debe hacerse un levantamiento detallado de la construcción, identificando además la ubicación de las instalaciones. Otro aspecto importante son las características mecánicas de los materiales. Para determinarlas se pueden realizar diversas pruebas, tanto destructivas como no destructivas.

Finalmente para el último objetivo existen diversas técnicas de reparación aplicables a muros de mampostería. La elección de la técnica de reparación a utilizarse en cada caso particular depende de diversos factores, tales como: el grado de daño, la resistencia que se desea que el muro reparado presente, la durabilidad de los materiales existentes y de los nuevos, las limitaciones de espacio, la mano de obra y equipo o herramienta disponible, el costo, la importancia de la estructura, la estética. Las técnicas de reparación utilizadas son anclas, el remplazo de piezas, la inyección de grietas con materiales epóxicos, inserción de barras de refuerzo, grapado de grietas, encamisado de muros con mallas metálicas, refuerzo con fibra de vidrio y el refuerzo metálico en las juntas.

Para dar respuesta a la pregunta de investigación se propuso un formato para recabar información importante de la estructura a evaluar, el formato cuenta con diversos campos que asignaran un valor a cada aspecto de la estructura. Al finalizar el llenado del formato se realizará la suma del valor de todos los campos, dependiendo del valor al que se llegue la estructura se clasificará como un daño leve, daño moderado, daño severo y daño muy grave. Para cada una de las clasificaciones se describen los métodos y las técnicas de reparación y rehabilitación que se pueden aplicar a cada caso.

Por lo anterior este trabajo da una solución para la para la clasificación y evaluación de daños, así como la selección de técnicas de reparación para estructuras de mampostería. Todo esto dependerá en gran parte del conocimiento de los reglamentos y normas de construcción así como la experiencia y el criterio de la persona que realizará la evaluación.

BIBLIOGRAFÍA

Alcocer, Sergio. (2003)

Rehabilitación de estructuras de mampostería, Edificaciones de mampostería para vivienda.

Fundación ICA. México.

Asensio Cerver, Francisco. (1989)

Biblioteca de la construcción.

Ed. Atrium, España.

De la Torre, Oscar. (2003)

Sistemas constructivos para vivienda de mampostería, Edificaciones de mampostería para vivienda.

Fundación ICA. México.

Gobierno del Distrito Federal. (2005)

Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de Mampostería (NTCM).

Ed. Trillas, México.

Gallegos, H.; Ramírez de Alba, O. (2003)

Las estructuras de mampostería, Edificaciones de mampostería para vivienda.

Fundación ICA. México.

Gallo Ortiz, Gabriel O. et al. (2005)

Diseño estructural de casa Habitación.

Ed. Mc Graw Hill. México.

Hernández Sampieri, Roberto. Et al. (2008)

Metodología de la investigación.

Ed. Mc Graw Hill. México.

Jurado Rojas, Yolanda. (2005)

Técnicas de investigación documental.

Ed. Thomson, México

Mendieta Alatorre, Ángeles. (2005)

Métodos de Investigación y manual académico.

Ed. Porrúa. México

Meli Piralla, Roberto. (2007)

Diseño estructural.

Ed. Limusa. México.

Murillo Zarco, Jorge Iván. (2010)

Propuesta de curvas de densidad de muros para el estado de Michoacán.

Tesis inédita de la escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Don Vasco A. C., de la ciudad de Uruapan, Michoacán, México.

Peck, Ralph B. et al. (1993)

Ingeniería de cimentaciones.

Ed. Limusa. México.

Vasconcelos, D.; Sánchez, T. (2003)

Materiales, Edificaciones de mampostería para vivienda.

Fundación ICA. México.

Villasante Sánchez, Esteban. (2008)

Mampostería y construcción.

Ed. Trillas, México.

Otras fuentes de información:

<http://www.asosismica.org.co/index.php?idcategoria=1069>

http://www.institutoconstruir.org/centrocivil/concreto%20armado/Evaluacion_patologias_estructuras.pdf

<http://www.ceramicaraja.com.ar/pdf/patologias.pdf>.

[http://www.cenapred.gob.mx/es/RedNacionalEvaluadores/EvaluacionEdificios/documentos/Formato%20para%20Evaluacion%20rapida%20\(Nivel%201\)%202011-05-20.pdf](http://www.cenapred.gob.mx/es/RedNacionalEvaluadores/EvaluacionEdificios/documentos/Formato%20para%20Evaluacion%20rapida%20(Nivel%201)%202011-05-20.pdf)

<http://www.construaprende.com/Tablas/CFE/Mapa31.html>

http://redgeomatica.rediris.es/sismo/pdf/pub_028.pdf

VII Congreso internacional sobre patología y rehabilitación de estructuras, (2011)

Métodos para estimar el daño en muros de mampostería y técnicas de reparación en México. Sánchez Ibarra, A.; Navarro Caballero, E.

CD memoria del congreso.

XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Ixtapa-Zihuatanejo, Gro. México.
(2007)

Comportamiento ante cargas laterales de muros de mampostería rehabilitados con GFRP. Velázquez, J.; Quiñonez, B.; Reyes, A.; Leyva, G.

CD memoria del Congreso.

XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Ixtapa-Zihuatanejo, Gro. México.
(2007)

Propiedades mecánicas de muretes y pilas con refuerzo metálico. Sánchez, S.; Mebarki, A.; Arroyo, R.; Muñoz, V.; Ramos, M.

CD memoria del Congreso.

ANEXOS

Para ejemplificar el llenado del formato se hizo la inspección y evaluación de la siguiente casa la cual se ubica en la calle Arroyo del Páramo, No. 412 en la colonia el colorín en la ciudad de Uruapan Michoacán.

Anexo A



Irregularidad en planta y elevación de la vivienda.

Anexo B



Falta de confinamiento en muros y ventanas.

Anexo C



Agrietamiento en dalas y muros.

Anexo D



Falta de confinamiento en muros.

Anexo E

Información General			
Ubicación:	Calle arroyo del páramo No. 412 Colonia El colorin		
	Ciudad Uruapan Michoacán		
Tipo de construcción:	Vivienda Particular		
Estructuración:	Muros no Confinados ni reforzados		
Edad de la construcción:	20 años		
Estado general:	Se encuentra en mal estado		
Tipo de materiales:	Tabique <input checked="" type="checkbox"/> Tabicón <input type="checkbox"/> Adobe <input type="checkbox"/>		
Aspectos Geométricos			
Regularidad de la construcción:			
Relación	L/B < 2	<input type="checkbox"/>	(1 a 2)
	2 < L/B < 3	<input type="checkbox"/>	(3 a 5)
	L/B > 3	<input type="checkbox"/>	7 (6 a 10)
Relación	H/B < 1.5	<input type="checkbox"/>	(1 a 2)
	1.5 < H/B < 2.5	<input type="checkbox"/>	(3 a 5)
	H/B > 2.5	<input type="checkbox"/>	9 (6 a 10)
Irregularidad geométrica			
Planta	Regular	<input type="checkbox"/>	(1 a 3)
	Irregular	<input type="checkbox"/>	5 (4 a 6)
Cambios geométricos	Sin cambios	<input type="checkbox"/>	(1 a 2)
	Pocos cambios	<input type="checkbox"/>	5 (3 a 5)
	Muchos cambios	<input type="checkbox"/>	(6 a 10)
Nivelación del terreno			
α de la topografía	$\alpha < 20^\circ$	<input type="checkbox"/>	2 (1 a 2)
	$20^\circ < \alpha < 30^\circ$	<input type="checkbox"/>	(3 a 5)
	$\alpha > 30^\circ$	<input type="checkbox"/>	(6 a 10)
Densidad de muros			
	Adecuada	<input type="checkbox"/>	(1 a 3)
	No adecuada	<input type="checkbox"/>	8 (4 a 10)
Aspectos constructivos			
Calidad de los materiales			
	Buena	<input type="checkbox"/>	(1 a 2)
	Regular	<input type="checkbox"/>	4 (3 a 4)
	Mala	<input type="checkbox"/>	(5 a 6)
Calidad de la construcción			
	Buena	<input type="checkbox"/>	(1 a 2)
	Regular	<input type="checkbox"/>	(3 a 4)
	Mala	<input type="checkbox"/>	6 (5 a 6)

Aspectos estructurales

Tipos de muros	Confinados	<u> </u> (1 a 4)	No Confinados	<u>8</u> (5 a 8)
Existencia de grietas	Sí	<u>5</u> (1 a 5)	No	<u> </u> (0)
Tipo de grietas	Diagonal	<u>x</u>	Horizontal	<u>x</u>
			Vertical	<u> </u>
Tamaño de grietas en muros confinados	<0.2mm	<u> </u> (1)	0.2 < y < 1mm	<u> </u> (2 a 4)
			1 < y < 3mm	<u> </u> (5 a 7)
			> 3mm	<u>10</u> (8 a 10)
Tamaño de grietas en muros sin confinamiento			< 1mm	<u> </u> (1 a 5)
			> 1mm	<u>10</u> (6 a 10)
Cantidad de muros dañados	1	<u> </u> (1 a 2)	2 a 4	<u> </u> (3 a 5)
			más de 4	<u>8</u> (6 a 10)
Trabes	Adecuadas	<u> </u> (0 a 2)	No Adecuadas	<u>5</u> (3 a 6)
Columnas	Adecuadas	<u> </u> (0 a 2)	No Adecuadas	<u>5</u> (3 a 6)
Tipo de losa	Maciza	<u>x</u>	Aligerada	<u> </u>
			Prefabricada	<u> </u>
Estado de la losa	Buena	<u> </u> (1 a 2)	Regular	<u> </u> (3 a 4)
			Mala	<u>5</u> (5 a 6)
Material de la cimentación	Concreto	<u> </u>	Mampostería	<u>x</u>
Tipo de cimentación	Zapatas aisladas	<u> </u>	Zapatas combinadas	<u> </u>
			Zapatas Corridas	<u>x</u>
*Sí marcó zapata corrida	Bajo Columna	<u> </u>	Bajo muro	<u>x</u>
Estado de la cimentación	Buena	<u> </u> (1 a 2)	Regular	<u> </u> (3 a 4)
			Mala	<u>5</u> (5 a 6)

Aspectos Geográficos y Geológicos	
Existencia de edificio crítico	Sí $\frac{3}{(1 \text{ a } 5)}$ No $\frac{0}{(0)}$
Región sísmica (CFE)	A $\frac{0}{(0)}$ B $\frac{2}{(2)}$ C $\frac{5}{(5)}$ D $\frac{10}{(10)}$
Tipo de suelo	Duro $\frac{1}{(1 \text{ a } 2)}$ Intermedio $\frac{3}{(3 \text{ a } 4)}$ Blando $\frac{8}{(5 \text{ a } 8)}$
Existencia de falla geológica	Sí $\frac{1}{(1 \text{ a } 5)}$ No $\frac{0}{(0)}$
Tipo de clima	Frío $\frac{2}{(2 \text{ a } 4)}$ Templado $\frac{2}{(0 \text{ a } 2)}$ Caliente $\frac{2}{(2 \text{ a } 5)}$
Existencia de ríos	Sí $\frac{4}{(1 \text{ a } 5)}$ No $\frac{0}{(0)}$

Ejemplificación del llenado del formato.

Al realizar la suma de los campos da un valor de 129, por lo que la vivienda se clasificará como daño muy grave, por lo que se atenderá a las recomendaciones para esta clasificación.