



UNIVERSIDAD  
"DON VASCO, A.C."

**UNIVERSIDAD DON VASCO, A.C.**

Incorporación No. 8727 - 15 A la

Universidad Nacional Autónoma de México

---

Escuela de Ingeniería Civil

**ALTERNATIVAS DE REFUERZO PARA MUROS DE MAMPOSTERÍA  
SUJETOS A CARGA SÍSMICA.**

**TESIS**

Que para obtener el título de:

**Ingeniero Civil**

Presenta:

**Berenice Rizo García**

Asesor:

**M.I. Enrique Omar Navarro Caballero**

Uruapan, Michoacán, 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## índice

### Introducción

Antecedentes.....	1
Planteamiento del problema.....	3
Objetivo.....	3
Pregunta de investigación.....	4
Justificación.....	4
Delimitación.....	5
Marco de referencia.....	6

### CAPÍTULO 1

#### Mampostería

1.1 Materiales más comunes en la mampostería.....	8
1.2 Tipos de mampostería.....	9
1.2.1 Mampostería de origen natural.....	10
1.2.1.1 Piedras naturales.....	10
1.2.2 Mampostería de origen artificial.....	11
1.2.2.1 Piedras artificiales.....	14
1.2.3 Mampostería de adobe.....	15
1.3 La importancia del mortero en la mampostería.....	15
1.3.1 Propiedades de los morteros.....	17

1.4 Comportamiento de la mampostería.....	18
1.4.1 Comportamiento de la mampostería sujeta a compresión.....	18
1.4.2 Comportamiento mecánico de los mampuestos.....	22
1.4.3 Comportamiento mecánico del mortero.....	23

## **CAPÍTULO 2**

### Cargas sísmicas

2.1 El sismo.....	26
2.2 Constitución interna de la tierra.....	27
2.3 Origen de los sismos.....	29
2.3.1 Tipos de los límites entre placas.....	30
2.4 Tipos de sismos.....	30
2.4.1 Sismos tectónicos.....	31
2.4.2 Sismos volcánicos.....	31
2.4.3 Sismos de colapso.....	31
2.4.4 Sismos artificiales.....	32
2.5 Clasificación de los sismos por su magnitud.....	32
2.6 Clasificación de los sismos por su movimiento.....	32
2.7 Clasificación de los sismos de acuerdo a la profundidad de su origen.....	33
2.8 Tipos de fallas.....	33
2.8.1 Elementos de una falla.....	34
2.8.2 Características de una falla.....	34
2.8.3 Fallas activas e inactivas.....	35

2.8.4 Clasificación de las fallas según su movimiento.....	35
2.9 Ondas sísmicas.....	36
2.9.1 Ondas primarias, también llamadas principales o de dilatación.....	36
2.9.2 Ondas secundarias o de cortante.....	37
2.9.3 Ondas superficiales.....	37
2.9.3.1 Ondas Love.....	37
2.9.3.2 Ondas Rayleigh.....	38
2.10 Localización y medida de un sismo.....	38
2.10.1 Escala de Richter.....	39
2.10.2 Escala de Mercalli.....	41
2.11 Instrumentos de registro.....	41
2.12 Sismicidad en México.....	43
2.13 Efectos sísmicos en los edificios.....	44

### **CAPÍTULO 3**

#### **Criterios de diseño y tipos de refuerzo para muros de mampostería**

3.1 Diseño de muros de mampostería confinada.....	46
3.1.1 Piezas.....	48
3.1.2 Juntas de mortero.....	48
3.1.3 Aparejo.....	49
3.1.4 Concreto y mortero de relleno.....	49
3.1.5 Refuerzo.....	51

3.2 Construcción de muros de mampostería confinada.....	51
3.2.1 Tolerancias.....	52
3.3 Diseño de muros de mampostería reforzada interiormente.....	53
3.4 Diseño de muros de muros de mampostería no confinada ni reforzada...	54
3.5 Diseño de muros mampostería de piedras naturales.....	54
3.5.1 Materiales.....	54
3.5.2 Piedras.....	55
3.5.3 Morteros.....	56
3.6 Diseño.....	56
3.6.1 Esfuerzos resistentes de diseño.....	56
3.6.2 Determinación de la resistencia.....	57
3.7 Cimientos.....	58
3.8 Muros de mampostería de contención.....	60

## **CAPÍTULO 4**

### Alternativas de refuerzo para muros de mampostería

4.1 Tipos de refuerzo de mampostería confinada.....	61
4.1.1 Castillos y dalas exteriores.....	61
4.2 Muros con castillos interiores.....	65
4.3 Muros con aberturas.....	65
4.4 Espesor y relación altura a espesor de los muros.....	66
4.5 Fuerzas y momentos de diseño.....	66

4.6 Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro.....	67
4.6.1 Resistencia a compresión de muros confinados.....	68
4.6.2 Resistencia a flexocompresión en el plano del muro.....	68
4.6.2.1 Método general de diseño.....	68
4.6.2.2 Método optativo.....	69
4.7 Resistencia a cargas laterales.....	70
4.7.1 Consideraciones generales.....	70
4.7.2 Fuerza cortante resistida por la mampostería.....	71
4.8 Fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal.....	72
4.8.1 Tipos de acero de refuerzo.....	72
4.8.2 Separación del acero de refuerzo horizontal.....	73
4.8.3 Cuantías mínima y máxima del acero de refuerzo.....	73
4.8.4 Diseño del refuerzo horizontal.....	74
4.9 Tipos de Refuerzo para muros de mampostería reforzados externamente....	75
4.9.1 Fuerza cortante resistida por la malla de alambre electrosoldada recubierta de mortero.....	75
4.9.2 Cuantías mínima y máxima de refuerzo.....	76
4.9.3 Diseño de la malla.....	76
4.10 Refuerzo para muros de mampostería con refuerzo interior.....	76
4.10.1 Cuantías de acero de refuerzo horizontal y vertical.....	76

4.10.2 Refuerzo vertical.....	77
4.10.3 Refuerzo en los extremos de muros.....	77
4.10.4 Mortero y concreto de relleno.....	81
4.10.5 Anclaje del refuerzo horizontal y vertical.....	81
4.10.6 Muros transversales.....	82
4.10.7 Muros con aberturas.....	83
4.10.8 Espesor y relación altura a espesor de los muros.....	83
4.10.9 Pretilas.....	84
4.11 Supervisión.....	85
4.12 Fuerzas y momentos de diseño.....	85
4.13 Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro.....	86
4.13.1 Resistencia a compresión de mampostería con refuerzo interior.....	86
4.14 Resistencia a flexocompresión en el plano del muro.....	87
4.14.1 Método general de diseño.....	87
4.14.2 Método optativo.....	87
4.15 Resistencia a cargas laterales.....	88
4.15.1 Consideraciones generales.....	88
4.15.2 Fuerza cortante resistida por la mampostería.....	89
4.16 Fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal.....	90
4.16.1 Tipos de acero de refuerzo.....	90
4.16.2 Separación del acero de refuerzo.....	90
4.16.3 Cuantías mínima y máxima del acero de refuerzo horizontal.....	91

4.16.4	Diseño del refuerzo horizontal.....	91
4.17	Tipos de refuerzo para muros de mampostería no reforzada ni confinada...	92
4.17.1	Fuerzas y momentos de diseño.....	92
4.17.2	Refuerzo por integridad estructural.....	93
4.17.3	Refuerzo Vertical.....	93
4.17.4	Refuerzo horizontal.....	94
4.18	Refuerzo transversal.....	96
4.19	Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro.....	96
4.19.1	Resistencia a compresión.....	96
4.19.2	Resistencia a flexocompresión.....	97
4.20	Resistencia a cargas laterales.....	97
4.21	Método simplificado de análisis.....	98

## **CAPÍTULO 5**

### Metodología

5.1	Enfoque de la investigación.....	99
5.2	Alcance de la investigación.....	100
5.3	Diseño de la investigación.....	101
5.3.1	Investigación transeccional.....	102
5.4	Instrumentos de recopilación de datos.....	103
5.5	Descripción del proceso de investigación .....	103

## **Capítulo 6**

Ejemplo del cálculo del refuerzo en muros de mampostería.

6.1 Análisis de cargas.....107

**Conclusiones**.....115

**Bibliografía**.....118

**Anexos**

# INTRODUCCIÓN

## Antecedentes

“Las edificaciones históricas representan la cultura del hombre y su evolución, las antiguas construcciones son parte fundamental de la historia de la humanidad, éstas han sido elaboradas en base al conocimiento de las técnicas constructivas que en determinada época se tenían.” (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural; 1999:12)

Antiguas construcciones de mampostería son en su mayoría espectaculares, tanto que aún en estos días causan admiración. Los materiales con los cuales se elaboran estas obras son diversos y sus características varían de acuerdo al tipo de elemento empleado, tanto estéticamente como en su capacidad estructural. Las más antiguas han sido elaboradas en mampostería de diversos materiales tales como arcilla, mármol, cantera, tabiques, etc.

Las técnicas constructivas en mampostería, así como el proceso de elaboración de materiales tales como tabique o elementos aglutinantes han ido evolucionando a través de los siglos y debido a estas modificaciones las construcciones son ahora más versátiles.

Villasante (2003), menciona que el empleo de la mampostería de remonta hacia el año 2000 a.C. donde grandes ciudades fueron construidas con murallas de mampostería de adobe. Los conocimientos eran transmitidos y las estructuras se hacían a sentimiento, usando normas establecidas de los maestros a los discípulos.

Las primeras construcciones de mampostería reforzada de ladrillo se realizaron durante el siglo XIX en Inglaterra pero sin ninguna explicación científica. La preocupación por reglamentar y dar una seguridad estructural a este tipo de construcciones ocasionó la creación de códigos especializados que dan pautas prácticas tanto de construcción como de restauración.

Es hasta el año de 1944, en Estados Unidos Americanos, cuando aparece el primer reglamento especializado en construcciones de mampostería, esto en base al American Standar Building Code Requirements for Mansoury (1994), que únicamente menciona el diseño empírico de estructuras de mampostería sin refuerzo.

## **Planteamiento del problema.**

Algunos de los grandes defectos a los que se enfrentan las estructuras de mampostería son al daño que les ocasiona los fenómenos naturales tales como sismos y huracanes, que a su paso dejan ver la fragilidad de las construcciones. Los sitios más afectados son África, Asia, América Central y América del Sur.

Durante los fenómenos naturales ocurridos recientemente, la mayor parte de las pérdidas humanas han sido asociadas a fallas estructurales de muros de mampostería. Se vuelve entonces muy importante el correcto diseño de la estructura con los refuerzos necesarios y los más adecuados para la mampostería a emplear.

Tradicionalmente el sistema constructivo más empleado en México, tanto para la vivienda familiar como multifamiliar sigue siendo a base de muros de carga hechos de piezas macizas o huecas de barro recocido o de concreto, confinadas con elementos ligeros de concreto reforzados.

## **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, por lo que se hace necesario evaluar que tipo de refuerzo es el más efectivo para el caso.

Dado que los materiales empleados en mampostería tienen un gran uso en las estructuras debido a sus cualidades térmicas, acústicas, permeables y que además lo

hacen un elemento estructural es necesario un correcto análisis del tipo de refuerzo que le proporcionará a la estructura el mejor soporte ante los problemas a los que se enfrente la obra. El principal objetivo para que se lleve a cabo el estudio de los distintos tipos de refuerzo en las estructuras de mampostería, es determinar qué tipo de refuerzo es el más adecuado según el caso de mampostería que se requiera, esto con el fin de implementar la seguridad de la estructura frente a los daños a que pudiese estar expuesta.

### **Pregunta de investigación.**

Lo que hace de interés este documento es la incógnita a resolver, es decir, por medio del presente se dará a conocer qué tipo de refuerzo y el detallado se requiere para la construcción de muros de mampostería, la cuantía del mismo y la elección del mampuesto necesario para estar del lado de la seguridad en el momento en que este tipo de estructuras sean sujetas a cargas sísmicas. Prevenir es mejor que lamentar y más cuando se refiere a prevención de catástrofes ocasionadas por fenómenos naturales en este caso el sismo.

### **Justificación.**

“La seguridad estructural, especialmente ante los sismos, es uno de los requisitos indispensables en la vivienda en México.” Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED; 1991).

Es de importancia extrema conocer el comportamiento de los distintos mampuestos, sus propiedades, el detallado y tipo de refuerzo y su comportamiento

sujeto a cargas sísmicas, existen normas que rigen lo anterior pero lo hacen de manera general, en este documento se trata de profundizar el conocimiento ya existente y además de realizar, comprobar y analizar, si la variación del refuerzo en los distintos tipos de muros de mampostería tiene que ver con la seguridad del mismo ante un sismo, y de este manera conocer qué tipo de muro es el más recomendable para resistir este tipo de cargas sísmicas.

### **Delimitación.**

En México, el documento que en la actualidad rige para determinar el detallado del refuerzo en los distintos tipos de mampostería es el Reglamento de construcciones del Distrito Federal, que es el más empleado en general; de manera más objetiva existe un reglamento para cada uno de los estados que integran la República Mexicana.

El presente trabajo se enfoca en los tipos de refuerzos para estructuras de mampostería especificados en las normas de diseño de México. Es de vital importancia elegir el más adecuado según el tipo de estructura que se pretende construir y la ubicación de la misma.

## **Marco de referencia.**

Como menciona anteriormente Villasante (2003), las estructuras de mampostería se comenzaron a emplear desde el año 2000 a.C. y en la actualidad se siguen utilizando es por esto que se debe de tener, en base a la experiencia del tiempo transcurrido, un documento claro y sencillo, en se establezca cual es el tipo de refuerzo y el detallado que debe tener una estructura de mampostería, el que sea más útil para la obra a ejecutar.

Los edificios representan la cultura del hombre, el preservarlos de forma intangible es muy complicado puesto que muchos están elaborados en mampostería y su diseño no fue creado a conciencia.

Es por lo antes mencionado que es necesario lograr un expediente que permita al consultor una idea más clara y precisa de que refuerzo le permitirá una mejor funcionalidad en las estructuras de mampostería, así como, el detallado del mismo.

“Un terremoto o sismo es un movimiento brusco del suelo que es causado por un movimiento brusco que se produce en el interior de la Tierra. Es un fenómeno muy violento que dura unos segundos o unos pocos minutos. En ese tiempo, el temblor puede derribar edificios, tendidos eléctricos o destrozarse carreteras y puentes.”  
(Enciclopedia Encarta; 2007)

De acuerdo con Bazán/Meli (2000) los sismos, terremotos o temblores, son vibraciones de la corteza terrestre provocadas por varios factores el más importante es el origen tectónico según la ingeniería, otros factores son la caída de techos de

cavernas subterráneas e incluso a explosiones. Este origen tectónico se debe a las presiones que se generan en la corteza por el magma provocando una fricción en las placas y así genera la falla de los esfuerzos dando como consecuencia una liberación de energía almacenada en las rocas. Esta energía se libera por medio de las ondas vibratorias extendiéndose a distancias considerables.

En México se localizan distintas zonas altamente sísmicas como lo es la zona volcánica transversal y aun mas importante en el estado de Guerrero se localiza la Placa de Cocos donde principalmente en las costas de este estado se presentan o se originan los sismos más intensos, es por ello la importancia de reforzar correctamente las estructuras de mampostería en este caso los muros de mampostería en donde se desplantará la edificación.

Existen ya varios documentos que normalizan las construcciones de mampostería pero que a su vez resultan tediosos o difíciles de comprender, por ende sería muy gratificante el poder encontrar de manera rápida y concreta cual es el detallado y refuerzo que es más productivo para las estructuras de mampostería que se pretendan utilizar.

# CAPÍTULO 1

## MAMPOSTERÍA

En este capítulo se hace una detallada explicación de qué es la mampostería, qué tipo de mampuestos son los más comunes y cuáles son sus propiedades.

### **1.1 Materiales más comunes en la mampostería.**

“La mampostería es sistema constructivo tradicional compuesto por piedras naturales sin labrar o ligeramente labradas, llamadas mampuestos. Las fábricas de mampostería tan sólo proporcionan una cierta resistencia a la compresión, por lo que suelen conformar elementos verticales continuos, como muros y paredes. También pueden aparecer en arcos y bóvedas” (Enciclopedia Encarta, 2006), aunque la precisión de los elementos curvos suele hacer necesaria la labor de elementos de refuerzo.

Según Núñez (2000), las edificaciones más antiguas que se conocen están hechas a base de mampostería de diversos materiales, los más comunes son las rocas naturales, los adobes, tabiques o ladrillos, bloques y tabicones de concreto.

En la actualidad aún se puede apreciar que las modernas edificaciones siguen siendo construidas por elementos de este tipo, es decir, con mampuestos.

Las rocas naturales debido a su abundancia hacen que sean empleadas en muchas de las construcciones, éstas se clasifican en rocas ígneas como son: recinto,

granito, tezontle, cantera, chiluca, etc., otra clasificación son las rocas sedimentarias como el tepetate, y otras de clasificación metamórficas como el mármol.

Los adobes tienen características no sólo estructurales, sino además térmicas. Su facilidad de elaboración lo ha hecho un material de gran uso aún en la actualidad.

Los tabiques o ladrillos han tenido una enorme evolución a lo largo de la historia, su proceso constructivo ha mejorado muy rápido en los últimos años; puesto que en su nacimiento eran piezas creadas de arcilla cocidas en hornos de tierra, y su gran éxito ha llevado a la construcción de grandes fábricas proveedoras de este mampuesto donde se emplea nueva tecnología para la elaboración del mismo, además de dosificar la resistencia del elemento.

Los bloques o tabicones de concreto es uno de los materiales más empleados debido a su bajo costo en la elaboración en serie, este es elaborado a base de cemento Pórtland y arena. Las dimensiones y diseño pueden variar según se requiera.

## **1.2 Tipos de mampostería.**

El componente básico para la construcción de mampostería es la pieza que debido a su origen puede ser natural o artificial.

### **1.2.1 Mampostería de origen natural.**

En base a la clasificación de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (1999) 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 este tipo reciben el nombre de sillares.
- b) Mampostería de segunda. La piedra se labra en el 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.

#### **1.2.1.1 Piedras naturales.**

Villasante (2003), menciona que las piedras naturales son aquellas que se encuentran en estado natural y que de acuerdo con su constitución se clasifican en areniscas, basaltos, granitos y mármoles.

Para su empleo se requiere que tengan un peso determinado para su transportación ya sea manual o mecánica, esto depende del fin destinado que se les dé.

Los usos a que se destina son muy diversos, ya que pueden emplearse desde su forma y su estado natural hasta su transformación total, por ejemplo a grano o a

polvo. Se usan como elementos estructurales o bien como recubrimientos en pisos o muros.

Las piedras utilizadas tienen propiedades muy variables. En la siguiente tabla se dan características aproximadas de algunas piedras comúnmente usadas en la construcción.

Piedra	Peso volumétrico seco (ton/m <sup>3</sup> )	Resistencia a Compresión. (kg./cm <sup>2</sup> )	Resistencia a tensión en flexión (kg./cm <sup>2</sup> )	Modulo de elasticidad (kg./cm <sup>2</sup> )*10 <sup>3</sup>
Areniscas	1.75 - 2.65	150 - 3200	60 - 120	40 - 200
Basaltos	2.30 - 3.0	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 Tipos de piedras y propiedades  
Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 1999

### 1.2.2 Mampostería de origen artificial.

Continuando con la normatividad de la Sociedad Mexicana de Ingeniería (1999), se conoce que existe una gran variedad de piedras artificiales utilizadas en la construcción, estas pueden variar entre sí por la materia prima con que fueron

elaboradas, por las características físicas de la pieza o por los procedimientos de fabricación. Las materias primas más comunes son el barro, el concreto, con agregados ligeros o normales, y arena con cal.

Es importante recordar que los mampuestos utilizados en elementos estructurales de mampostería deberán cumplir requisitos de calidad que son especificados por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial para cada material.

Norma	Pieza
C - 6	Ladrillos y bloques cerámicos de barro, arcillas o similares.
C - 10	Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones de concreto.
C - 404	Bloques, tabiques, ladrillos y tabicones para uso estructural.

Tabla 1.2 Clasificación de las piedras según las normas de CENAPRED

Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 1999

Actualmente en la construcción de vivienda se utilizan también los siguientes materiales:

- Bloque sílico-calcáreo, compuesto por arena sílica y cal hidratada, cocido en autoclaves bajo vapor y presión.
- Bloque de concreto celular o concreto ligero.
- Páneles de estructuras; que consiste en un alma de alambre con poliestireno y recubrimiento de mortero en las dos caras).

- Concreto laminado; está compuesto por tabletas de cemento reforzado con fibras sintéticas.

Las propiedades y características de las piedras que son utilizadas como mampuestos varían dependiendo de la composición interna de la piedra.

A continuación se presentan las características de algunas piedras artificiales, determinadas por la Sociedad Mexicana de Ingeniería (1999), saber las características y propiedades de los mampuestos utilizados es de gran utilidad pues de esta manera se sabe que tanta resistencia puede aportar los mampuestos a emplear:

<b>Material</b>	<b>Resistencia A compresión fp(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>coeficiente de variación CV</b>	<b>Peso Volumétrico (ton/m<sup>3</sup>)</b>
Tabique rojo de barro recocido	35 - 115	10 - 30	1.30 - 1.50
Tabique extruido perforado	150 - 430	11 - 25	1.65 - 1.96
Verticalmente	310 - 570	15 - 20	1.61 - 2.06
	150 - 400	11 - 26	1.66 - 2.20
Tabique extruido macizo	375 - 900	5 - 16	1.73 - 2.05
Tabique extruido, huecos	75 - 80	13 - 80	1.25 - 1.32
Horizontales	50 - 80	16 - 30	1.69 - 1.78
<b>Bloques de concreto</b>			
Ligero	20 - 50	10 - 26	0.95 - 1.21
Intermedio	20 - 80	7 - 29	1.32 - 1.70
Pesado	70 - 145	7 - 28	1.79 - 2.15
Tabicón	45 - 120	11 - 35	1.05 - 1.6
Silicio Calcáreo	175 - 200	11 - 15	1.79

Tabla 1.3 Características de los mampuestos

Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 1999

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

Tabique: "fabricado de forma prismática con arcillas comprimidas o extruidas, mediante un proceso de cocción o de otros materiales con procesos diferentes.

Las dimensiones nominales mínimas deben ser 5 cm de alto, 10 cm de ancho y 19 cm de largo sin incluir la junta de albañilería".

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

Tabicón: "fabricado de concreto u otros materiales. Las dimensiones nominales mínimas deben ser de 6cm de alto, 10 cm de ancho y 24 cm de largo. Se incluye la junta de albañilería" (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 1999: 24).

### **1.2.2.1 Piedras artificiales.**

Las piedras artificiales, de acuerdo con Villasante (2003), son todas aquellas piezas fabricadas mediante un proceso de transformación para usarse en la construcción, los materiales más comunes empleados en su elaboración son el barro recocido ya sea hecho a mano o prensado en máquina, de concreto simple o con distintos agregados, con mortero, cal, arena, etc., pueden ser también macizas o huecas, de secado natural o artificial.

### **1.2.3 Mampostería de adobe.**

De acuerdo con la definición de Enciclopedia Encarta (2006), el adobe es una masa de barro mezclado en algunas ocasiones con paja, esta masa se moldea en forma de ladrillo y es secada al aire que se emplea en la construcción de paredes o muros.

Como ya es conocido, las construcciones en el medio rural mexicano son de adobe. Este material, aunque con propiedades de aislamiento térmico y acústico excelentes, ha demostrado un pobre comportamiento en elementos estructurales de mampostería sujetos a acciones sísmicas.

Una característica del material es su baja resistencia a la tensión, y esto se ve reflejado en la aparición de agrietamientos por tensión diagonal, por fuerza cortante o por tensión vertical, esto puede conducir al colapso total o parcial de la estructura.

Retomando a Núñez (2000). Las viviendas más comunes se caracterizan por un cuerpo principal de un solo piso, generalmente son de una planta rectangular alargada de 30 a 50 m<sup>2</sup> de área aproximadamente, frecuentemente sin muros divisorios y muros comúnmente de 3 a 3.5 m de altura con espesores de 40 a 60 cm, sin refuerzo.

### **1.3 La importancia del mortero en la mampostería.**

“El mortero es una mezcla de cal o cemento con arena y agua que se utiliza para unir ladrillos o piedras y para enlucir paredes. Los morteros de cal están compuestos

de arena, agua y cal apagada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), sustancia sólida de color blanco que se obtiene de la reacción de la cal con agua. Suele utilizarse una medida de cal apagada para tres o cuatro medidas de arena, y se añade agua hasta hacer una masa. Ésta se endurece en contacto con el aire porque absorbe dióxido de carbono, pero bajo el agua no se endurece y no es tan resistente como el mortero de cemento. El mejor tipo de mortero de cemento es una mezcla de cemento Portland, arena, agua y una pequeña cantidad de cal". (Enciclopedia Encarta; 2006).

En la tabla 4.1 se muestra la clasificación de los tres distintos tipos de cemento y los agregados necesarios para obtener la resistencia requerida.

Tipo de cemento	partes de cemento	partes de cemento de albañilería	partes de cal	partes de arena en estado suelto	resistencia nominal en compresión $\text{kg/cm}^2$
I	1	-	0 a 1/4	no menos de 2.25 ni más de tres veces el total del volumen de los cementantes	125
	1	0 a 1/2	-		125
II	1	-	1/4 a 1/2		75
	1	1/2 a 1	-		75
III	1	-	1/2 a 1 1/4		40

Tabla 1.4 Clasificación de cementos y propiedades

Fuente: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 1999

### **1.3.1 Propiedades de los morteros.**

Los morteros son mezclas plásticas aglomerantes que resultan de combinar arena y agua con un material cementante, como el cemento, cal o una mezcla de los anteriores.

Sus principales propiedades que se deben considerar son la resistencia a la compresión y a la tensión, la adherencia con los diferentes tipos de mampuestos, el modulo de elasticidad, la rapidez del fraguado, la impermeabilidad y la retención de agua que puede desarrollar.

Continuando con la consulta a Villasante (2003), los morteros de cal tienen menor resistencia y menor módulo de elasticidad, pero son mas trabajables y tienen una buena retención de agua.

Los morteros de cemento son los de mayor resistencia y mayor modulo de elasticidad, pero tienen la desventaja de fraguar muy rápido, por ende poca trabajabilidad y poca retención de agua.

Los morteros a base de cemento tienen la restricción de no usarse después de una hora de mezclados y los morteros de cal después de 2.5 horas, no dejándose reposar más de una hora.

Con frecuencia se emplean morteros con cemento y cal simultáneamente, con lo que se logra obtener cualidades de ambos materiales y cuando se lleva a cabo este proceso se le conoce como morteros mixtos o bastardos.

#### **1.4 Comportamiento de la mampostería.**

Para el comportamiento mecánico de la mampostería en compresión se considera un muro formado básicamente por dos elementos, por un lado piezas prismáticas que son los ladrillos o bloques, y por otro lado el mortero que se utiliza para unir los mampuestos, para el análisis del comportamiento se despreciarán los elementos que lo confinan como son las dalas y castillos.

##### **1.4.1 Comportamiento de la mampostería sujeta a compresión.**

Conforme a la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (1999), existen una gran cantidad de características geométricas y de materiales tanto de las piezas como de los morteros, por lo que se dificulta una descripción general del comportamiento de las estructuras de mampostería sujetas a cargas de compresión, lo que hace poco confiable la extrapolación de resultados de un tipo de mampostería a otro.

El comportamiento de la mampostería se ha estudiado en este país principalmente a través de ensayos con especímenes a una escala natural de los materiales y las sollicitaciones más usuales, teniendo como resultado valores representativos de sus propiedades y determinar que tan alta puede ser la variabilidad en ellas.

El ensaye que utiliza la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural es para obtener un índice de resistencia a compresión de la mampostería y para estudiar la forma esfuerzo-deformación y el efecto de las diferentes variables, es el de una pila formada por varias piezas sobrepuestas hasta obtener una relación altura a espesor de la pila de aproximadamente 4. Las razones del porqué esta elección son en base facilidad de construcción del espécimen así como su ensaye.

En el momento en que se ensaya el espécimen se pueden observar que se producen razonablemente los modos de falla observados a escala natural y en que para una pila de esas proporciones, las restricciones a las deformaciones transversales introducidas por las cabezas de la máquina de ensaye no influyen de manera importante en el resultado del mismo.

Continuando con el ensaye de la Secretaría Mexicana de Ingeniería Estructural (1999), en el momento de someter la mampostería a cargas de compresión, el modo de falla más común es a través de grietas verticales en las piezas, producidas por las deformaciones transversales incrementadas por el efecto de las deformaciones del mortero en las juntas. Cuando el agrietamiento vertical se vuelve excesivo, se produce la inestabilidad del elemento y por ende su falla o colapso.

“Cuando las piezas son de baja resistencia, la falla se presenta por aplastamiento en compresión de las piezas empleadas. El aplastamiento del mortero no ocasiona falla cuando los refuerzos son axiales, puesto que cuando se aplasta, es retenido por fricción entre las piezas o los mampuestos, y así, el conjunto puede soportar cargas mayores. Sin embargo, en elementos esbeltos el aplastamiento del mortero puede provocar problemas de inestabilidad”. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural; 1999:65)

El mortero tiene influencia poco importante dentro del intervalo de proporcionamientos estudiados por la SMIE, ya que la resistencia de las pilas es aproximadamente proporcional a la de las piezas, pero se distingue claramente las piezas hechas con cemento a las hechas de barro.

Según la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (1999), la resistencia a la compresión de la mampostería puede estimarse como:

$$F_m = 0.45 f_p \quad \text{para piezas de barro y sílico – calcáreas}$$

$$F_m = 0.60 f_p \quad \text{para piezas de concreto}$$

Donde:

$F_m$  es la resistencia a la compresión de la mampostería.

$f_p$  es la resistencia a la compresión de la pieza.

En el caso de las piezas de barro, la primera expresión es válida tanto para piezas de barro endurecido como para piezas de barro extruidas con perforaciones verticales u horizontales.

En el caso de los morteros con una proporción de cemento – arena de 1:3, el factor que relaciona la resistencia a la compresión de las piezas y de la mampostería, puede sustituirse por 0.50 en el caso de las piezas de barro o piezas sílico – calcáreas y por 0.65 en piezas de concreto.

Los módulos de elasticidad secantes obtenidos por los ensayos antes mencionados son un poco más sensibles que la resistencia a la calidad del mortero, especialmente para tabique por el mayor número de juntas que requiere.

Los resultados permiten exponer las siguientes relaciones:

$E = 450 fm$                       para piezas de barro

$E = 600 fm$                       para piezas de concreto.

“La dispersión de la resistencia de las pilas, es por lo general, notablemente menor que la de la resistencia de las piezas con que se construyen las pilas. Los coeficientes de variación no llegaron en ningún caso a 75 % de los de la resistencia de la pieza en estudio”. (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural; 1999:66)

En los ensayos realizados y los valores del módulo de elasticidad obtenidos anteriormente se refieren al efecto de compresión axial en dirección normal a las juntas. Se debe considerar que la diferente densidad de juntas en diferentes direcciones ocasiona una desigualdad en el material.

Sin embargo, cabe señalar que en la mayoría de los casos las propiedades elásticas son obtenidas por esfuerzos normales a las juntas, por ello, se justifica que se considere a la mampostería como un material isotrópico, es decir que no depende de la dirección de las juntas.

#### **1.4.2 Comportamiento mecánico de los mampuestos.**

El parámetro más importante de una pieza de mampostería desde el punto de vista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (1999), es su resistencia a compresión, que se determina mediante el ensaye directo a compresión de la pieza entera o de la mitad de ella. La resistencia a la compresión así determinada no es un parámetro uniforme de calidad, ya que los resultados obtenidos en piezas de materiales o geométricas distintos no son comparables y no se relacionan en la misma forma con la resistencia que puedan tener las piezas en un elemento estructural.

La razón de estas diferencias se debe a que las restricciones a las deformaciones transversales mencionadas anteriormente, producidas por la fricción con las placas de la máquina de ensaye que en este caso si afectan la resistencia de las piezas debido a la aportación de una fuerza de compresión transversal.

Por lo anterior, los resultados del ensaye de compresión son estrictamente comparables sólo para piezas del mismo tipo, y tener en cuenta que la relación entre la resistencia a la compresión de la pieza y el comportamiento estructural del elemento puede ser distinta para diferentes materiales.

La Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (1999), realizó un muestreo de la producción de piezas para mampostería destinadas a la construcción en el Distrito Federal, a fin de estudiar las propiedades más importantes y en particular la distribución estadística de la resistencia de las piezas.

Esta última se determinó en todos los casos sobre una mitad de las piezas por la mayor facilidad que se tenía en esta modalidad de ensaye y por no variar de los resultados de piezas completa. Se muestrearon, pues, lotes de materiales del mismo tipo, producidos por diferentes fábricas y se realizaron varias etapas de muestreos para una misma empresa a fin de tener medidas de la dispersión de la resistencia y así poder distinguir la que se presenta entre unidades de un mismo material, entre materiales de una misma procedencia y de materiales de distintas fábricas.

Por otra parte, para que el tabique de barro recocido se observó que se podía distinguir grupos de fábricas con resistencia del mismo orden, y que estos grupos correspondían a las zonas geográficas en las que estaban localizadas las tabiquerías, esto indica que la resistencia del tabique depende principalmente de los bancos de materia prima para la elaboración del producto antes mencionado, y que la diferencia en los procedimientos de fabricación empleados tienen menos importancia. Salvo algunas excepciones, los coeficientes de variación de la resistencia de piezas de un mismo lote fueron del mismo orden, con un resultado del 35% en promedio en la variación de los resultados en conjunto con todas las empresas que participaron en los ensayes.

#### **1.4.3 Comportamiento mecánico del mortero.**

Ruiz (1999), establece que con excepción de morteros altamente débiles, las propiedades mecánicas del mortero que más influyen en el comportamiento estructural de un elemento de mampostería, son su deformabilidad y su adherencia con las piezas, de la primera propiedad dependen en gran medida las deformaciones totales del elemento de mampostería y en parte a su resistencia a carga vertical.

La adherencia entre el mortero y las piezas define en muchos tipos de mampostería la resistencia por cortante del elemento.

Es importante también que el mortero tenga manejabilidad adecuada para que pueda ser colocado en capas uniformes sobre las que asienten bien las piezas, evitando concentraciones de esfuerzo y excentricidades.

“La resistencia a compresión del mortero no tiene una influencia muy importante en el comportamiento de la estructura de mampostería. Sin embargo, el control de calidad del mortero se basa en la determinación de esta propiedad a través del ensaye de cubos de 5 cm de lado” (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural; 1999:63).

La razón de la elección anterior, es por dar factibilidad a la prueba y por el hecho de que muchas otras propiedades, como su adherencia, su modulo de elasticidad y su resistencia a la tensión, pueden relacionarse en forma directa con la resistencia a la compresión.

Es obvio que en condiciones de obra, se deba esperar mayor dispersión en los resultados que los obtenidos en laboratorio debido a la desigual operación y a la posible variación de los proporcionamientos correctos y los que en realidad de emplearon.

Desgraciadamente es muy común en México que no se ponga la suficiente atención al proporcionamiento de los materiales para la elaboración del concreto en obra.

Lo anterior es muy importante porque por ejemplo, el valor que se espera de resistencia de un mortero cemento-arena con relación 1:6 es del orden de la mitad del de un mortero cemento-arena con relación 1:3, por lo que para un mismo nivel de carga de compresión debe esperarse aproximadamente el doble de deformación en el mortero 1:6 que en el mortero de 1:3.

El módulo de elasticidad del mortero determinado en ensayos estándar, según la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (1999), es del orden de 1000 veces la resistencia en compresión. Nuevamente, hay que tomar en cuenta que el valor determinado a partir de pruebas de cubos de 5 cm de lados no corresponde a las características de deformabilidad del mortero cuando forma una junta delgada entre dos piezas, debido a las diferentes condiciones de confinamiento y a las distintas condiciones de secado por la absorción de agua ejercida por las piezas o mampuestos.

## CAPÍTULO 2

### CARGAS SÍSMICAS

En el segundo capítulo se profundizará en conocer qué es un sismo, qué lo origina, y cómo afecta a las estructuras de mampostería.

#### **2.1 El sismo.**

“Un terremoto o sismo es un movimiento brusco del suelo que es causado por un movimiento brusco que se produce en el interior de la Tierra. Es un fenómeno muy violento que dura unos segundos o unos pocos minutos. En ese tiempo, el temblor puede derribar edificios, tendidos eléctricos o destrozarse carreteras y puentes.”  
(Enciclopedia Encarta; 2007)

De acuerdo con Bazán/Meli (2000) los sismos, terremotos o temblores, son vibraciones de la corteza terrestre provocadas por varios factores. El más importante es el origen tectónico, otros factores son la caída de techos de cavernas subterráneas e incluso explosiones. Este origen tectónico se debe a las presiones que se generan en la corteza por el magma, provocando una fricción en las placas y generando la falla debido a los esfuerzos, dando como consecuencia una liberación de energía almacenada en las rocas. Esta energía se libera por medio de las ondas vibratorias (ondas sísmicas) extendiéndose a distancias considerables.

“El sismo se genera por el corrimiento de cierta área de contacto entre placas. Se identifica un punto, generalmente subterráneo, que se denomina foco o hipocentro, donde se considera se inició el movimiento; a su proyección sobre la superficie de la tierra se le llama epicentro”. (Bazán/Meli; 2000:17)

Prácticamente toda la corteza tiene fallas geológicas, se observa que la actividad sísmica se suele concentrar en zonas donde los movimientos dentro de esta región de falla suelen ser frecuentes y severos. La zona donde se libera la mayor parte de la energía sísmica es un arco, llamado el Cinturón Circumpacífico, el cual abarca la zona de subducción.

## 2.2 Constitución interna de la Tierra.

De acuerdo con Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED (2007), se han realizado estudios científicos para determinar la composición de la Tierra y la mayoría de estos están basados en la propagación de las ondas sísmicas. Como resultado de dichos estudios se ha podido establecer que la Tierra está dividida de la siguiente manera en capas concéntricas del exterior hacia el interior: corteza, manto, núcleo externo y núcleo interno.

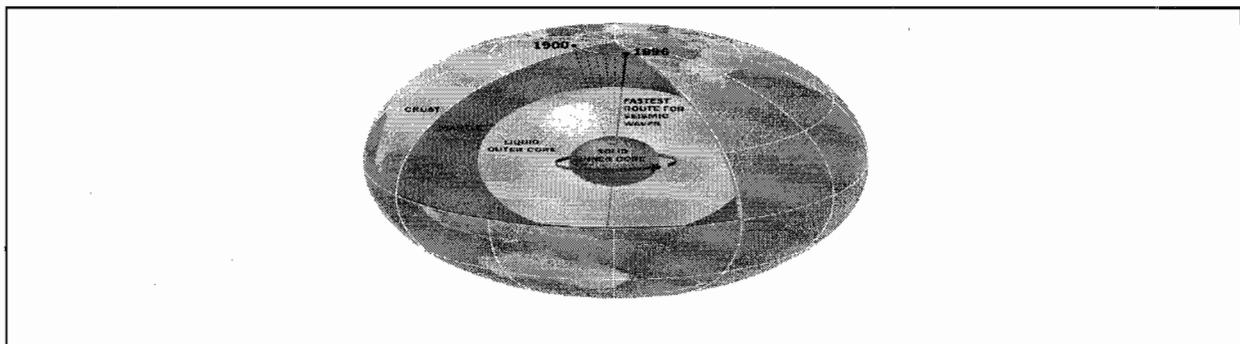


Figura 1.1 Composición interna de la tierra.

Fuente: Enciclopedia Encarta

En el estudio que se pretende realizar, la actividad sísmica es muy importante, la cubierta de la tierra llamada litosfera, está conformada por parte de la corteza y la parte superior del manto y su espesor es de aproximadamente 100 km.

A continuación se presentan las definiciones según el CENAPRED (2007), de las partes que forman internamente la tierra.

- Corteza, es la capa sólida y fracturable que inicia en la superficie y llega a los 35 km aproximadamente esto varía de acuerdo a la zona continental, por ejemplo en zonas montañosas es mayor mientras que en los océanos es menor como en 10 km.
- Manto, en esta capa se generan temperaturas y presiones dominantes en el material, por lo tanto su estado físico se mantienen entre sólido y plástico, y comprende la parte inferior de la corteza hasta 2900 km de profundidad.
- Núcleo externo, su espesor es de 2300 km, partiendo desde la capa anterior hasta los 5200km de profundidad, con base en datos sismológicos se puede deducir debido a la temperatura que su estado es líquido.
- Núcleo interno, este es el centro de la tierra y se ha calculado su estado es sólido con un diámetro de 2340 km.

### **2.3 Origen de los Sismos.**

En base a lo establecido por el Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2007), en 1620 Sir Francis Bacon observó que entre la costa atlántica de América y África existe una relación en sus líneas. En 1912 Alfred Wegener, fundamentado con la teoría anterior, crea la teoría de la deriva Continental, la cual afirma que hace 200 millones de años los continentes eran uno solo llamado Pangea, que debido a un sustrato viscoso se fueron separando hasta llegar a la posición actual.

Gracias a la teoría de Wegener y con la aportación de geólogos y geofísicos se llegó a la Teoría de Tectónica de Placas, que acuerda que la litosfera está dividida en mosaicos, llamados placas, las cuales se mueven entre sí, y sus desplazamientos son de 2 a 12 cm por año.

Este movimiento de las placas ocurre debido al arrastre que provocan las corrientes de convección, dentro de la parte viscosa del manto, su función de estas corrientes es llevar el material caliente hacia zonas de poca profundidad, y el material con menor temperatura es transportado hacia zonas con mayor profundidad. “No hay coincidencia entre los límites de las placas y los continentales; una sola placa puede contener completa o parcialmente continentes y áreas oceánicas.” (CENAPRED; 2007:7)

### **2.3.1 Tipos de los límites entre placas.**

Lo que a continuación se describe es citado según el manual de CENAPRED (2007).

- Divergentes, es cuando las placas se están separando, ejemplo las cordilleras oceánicas.
- Convergentes, cuando una placa se introduce debajo de la otra, o cuando chocan entre sí, ejemplos la placa de Cocos bajo la placa Norteamérica de la costa occidental de México, o la colisión de las placas Indoaustraliana y Euroasiática.
- De transformación o transcurrentes, cuando se desplazan lateralmente una de otra, ejemplo la falla de San Andrés que cruza el estado de California y parte del norte de la península de Baja California.

### **2.4 Tipos de Sismos.**

Los sismos se pueden clasificar por su origen, por su magnitud, tipo de movimiento y por profundidad del foco.

Por su origen se clasifican en artificiales y naturales, a su vez los sismos naturales se clasifican en: sismos tectónicos, volcánicos y de colapso.

### **2.4.1 Sismos tectónicos.**

Como lo dice el Servicio Sismológico Nacional (2007), los sismos tectónicos son los que se generan debido a la interacción de las placas tectónicas. Estos, a su vez, se dividen en dos: los interplaca y los intraplaca. Los primeros son los que producen fricción en las zonas de contacto de las placas; los últimos son los que se generan en la parte interna de las placas, un tipo particular de los intraplaca son los locales que son los generados debido a concentraciones de fuerzas en una región específica causando deformaciones del material terrestre.

Como consecuencia de estos sismos se presentan los maremotos, o tsunamis, generados por el movimiento vertical que se produce en el agua a partir de un terremoto.

### **2.4.2 Sismos volcánicos.**

Son causados por fracturas que sufre la roca generados por el movimiento del magma, son simultáneos con erupciones volcánicas.

### **2.4.3 Sismos de colapso.**

Son los que ocurren debido al derrumbamiento del techo de cavernas y minas, y generalmente cerca de la superficie y en un área reducida.

#### **2.4.4 Sismos artificiales.**

Generados por el hombre y estos pueden ser a causa de explosiones y de origen nuclear, estos suelen con fines de exploración, investigación y explotación de bancos de material para la industria.

#### **2.5 Clasificación de los sismos por su magnitud.**

Por su magnitud se dividen en: microsismos y macrosismos.

- **Microsismos:** son de magnitud muy pequeña, y por lo general solo son perceptibles por un medio de un aparato. Su magnitud es menor de 3 grados Richter.
- **Macrosismos:** generalmente este tipo de sismos son perceptibles por el hombre y su magnitud es mayor de 3 grados Richter.

#### **2.6 Clasificación de los sismos por su movimiento.**

De acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional (2007), según el tipo de movimiento los sismos se clasifican en: oscilatorio y trepidatorio.

- **Oscilatorio:** el tipo de movimiento que se presenta es en forma horizontal de este a oeste y de norte a sur. Debido a las ondas sísmicas su movimiento disminuye, pero al llegar a un suelo blando se amplifican a causa de las componentes horizontales del suelo.
- **Trepidatorio:** su movimiento es vertical, ahora las ondas sísmicas se mueven hacia arriba y hacia abajo. Por lo general ocurren cerca del epicentro.

## **2.7 Clasificación de los sismos de acuerdo a la profundidad de su origen.**

De acuerdo a la profundidad del foco se dividen en: poco profundos, intermedios y profundos.

- Poco profundos: se presentan no a menos de 70 km. por debajo de la superficie.
- Intermedios: estos ocurren entre los 70 y 300 km. por debajo de la superficie.
- Profundos: son los que se presentan por debajo de los 300 km. de la superficie. Según los científicos aproximadamente más del 75% de la energía sísmica se libera en estos terremotos.

## **2.8 Tipos de Fallas.**

De acuerdo con Bazán/Meli (2000), las vibraciones de la corteza terrestre, llamadas sismos, causan peligro a las edificaciones que se desplantan de ella, al ser afectadas desde su base. A parte de las vibraciones también existen otros fenómenos sísmicos que afectan a las estructuras, estas pueden ser fallas en el terreno, por ejemplo deslizamientos en laderas y grietas en el suelo.

“La falla sísmica es, en geología, una línea de fractura a lo largo de la cual una sección de la corteza terrestre se ha desplazado con respecto a otra. El movimiento responsable de la dislocación puede tener dirección vertical, horizontal o una combinación de ambas.” (Enciclopedia Encarta; 2007)

### **2.8.1 Elementos de una falla.**

Retomando al CENAPRED (2007), los elementos de una falla son:

- Plano de Falla: es la superficie o plano a lo largo del cual se desplazan los bloques que se separan en la falla, una característica es la aparición de estrías debido a la fricción generada por los bloques.
- Labio elevado: también se le conoce como bloque superior, es el bloque que queda en la parte superior del plano de falla.
- Labio hundido: se le llama también bloque inferior, es el bloque que queda en la parte inferior del plano de falla.

### **2.8.2 Características de una falla.**

- Dirección: es el ángulo que forma una línea horizontal contenida en el plano de falla respecto al eje norte-sur.
- Buzamiento: es el ángulo que forma el plano de falla con respecto a la horizontal.
- Salto de falla: es la distancia que se forma respecto a un punto de un bloque con el otro bloque, tomada a lo largo de un plano de falla.
- Escarpe: es la distancia de las superficies de los labios, tomada en vertical.

### **2.8.3 Fallas activas e inactivas.**

- **Fallas Activas:** es cuando deforma sedimentos cuaternarios, esto es que en un periodo de aproximadamente 1.8 millones de años se han encontrado evidencias de movimientos como lo es la famosa falla de San Andrés que proviene desde E.U.A en el estado de California y pasa por los estados mexicanos de Baja California. Los deslizamientos suelen generarse en forma de saltos que dan origen a los sismos. Estos saltos han alcanzado los 8 y 12 cm de altura y han sido sismos muy grandes, pero en ocasiones también se han registrado saltos que no son apreciables, sólo con aparatos de medición.
- **Fallas Inactivas:** estas fallas son asísmicas, y, al igual que las activas, se desplazan en milímetros o centímetros por año esto es un intervalo de tiempo de miles de años. Algunas de estas fallas son de origen geológico.

### **2.8.4 Clasificación de las fallas según su movimiento.**

- **Falla inversa:** son debido a esfuerzos de compresión horizontal y, generalmente, el plano de falla tiene un ángulo de  $30^\circ$  respecto a la horizontal, cuando este tipo de falla se presenta un manteo menor a  $45^\circ$  se le llama falla de cabalgamiento.
- **Falla normal:** este tipo de falla es debido a esfuerzos de tensión horizontal, su movimiento es vertical en el plano de falla y su ángulo es de  $60^\circ$  respecto a la horizontal. El bloque que se desliza hacia abajo es el de techo, respectivamente el de piso es el que sube. Este tipo de falla puede dar origen a los llamados horst (región elevada entre dos fallas normales) y a los graben (región hundida entre dos bloques levantados).

- Falla de desgarre: también se le conoce como transversal. Son fallas verticales, pero el movimiento de los bloques es horizontal. Este tipo de falla se puede presentar de dos tipos: de derechas e izquierdas, las primeras los dos bloques se mueven hacia la derecha y las segundas el movimiento de sus bloques es opuesto.
- Falla rotacional: también se le conoce como falla de tijera, debido a que sus bloques se mueven girando a través de un punto fijo.

## **2.9 Ondas sísmicas.**

Según el CENAPRED (2007) las ondas sísmicas, son las fuerzas friccionantes vencidas o esfuerzos que sobrepasan la resistencia de la roca, generando la ruptura y liberación de energía acumulada, esta se propaga en todas direcciones en forma ondulatoria, a través del medio sólido de la tierra.

Existen tres tipos de ondas sísmicas que son: las ondas primarias (P), las secundarias (S), estas dos son también llamadas ondas internas o de cuerpo debido a que se propagan en todas direcciones en el interior de la tierra, y el tercer tipo de onda son las llamadas superficiales.

### **2.9.1 Ondas primarias, también llamadas principales o de dilatación,**

Es la que comprime y expande la roca en la misma dirección de su trayectoria, su velocidad varía entre 1100 y 8000 m/s según el tipo de roca, tiene la capacidad de propagarse a través de sólidos y líquidos, por ejemplo el magma y los océanos. Se

puede transmitir a la atmósfera por medio de ruido. El retumbo de esta onda es la consecuencia del vibrado en ventanas y muros.

### **2.9.2 Ondas secundarias o de cortante,**

Tienen como característica principal que mientras se propaga en un sentido, deforma el material en el otro sentido de su trayectoria, por esta causa no se transmite en los fluidos. Su velocidad es menor la onda varía entre 500 y 4400 m/s. Esta onda es la responsable de daños en construcciones debido a su movimiento vertical y horizontal en todas las direcciones.

### **2.9.3 Ondas superficiales.**

Son las que se propagan en la parte superior de la corteza terrestre, a mayor profundidad menor amplitud de su movimiento. Estas se clasifican a su vez en: ondas Love y Rayleigh.

#### **2.9.3.1 Ondas Love.**

Deforman la roca de manera similar a las ondas S, pero su propagación es en sentido horizontal. Causan daños en tuberías, vías férreas, etc.

### **2.9.3.2 Ondas Rayleigh.**

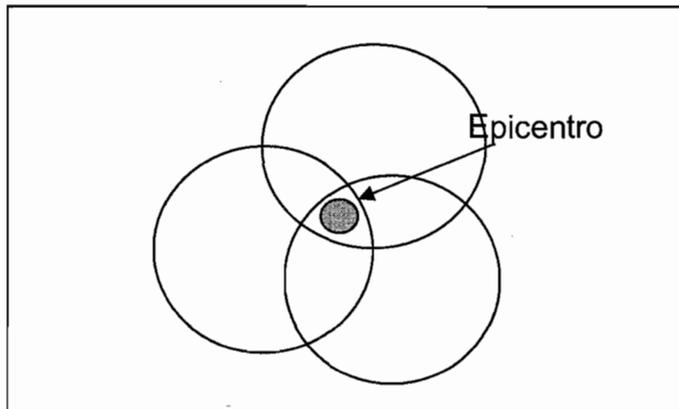
Su movimiento es vertical similar a las olas marinas. Generalmente son las que provocan mayor daño de todas las ondas a causa de su movimiento, y suelen afectar a las cimentaciones de las estructuras.

### **2.10 Localización y medida de un Sismo.**

De acuerdo a apuntes de ingeniería sísmica para identificar el epicentro de un sismo se requiere de contar con estaciones sismológicas para poder ubicar puntos cerca de las fallas geológicas. Por medio de sismógrafos se detectan las vibraciones a causa de las ondas sísmicas, las ondas que se aprecian son las p y s las cuales llegan a diferentes velocidades debido a sus características, por lo tanto se calcula la diferencia de tiempo en segundos de llegada, multiplicada por 8 y de esta manera saber la distancia en km. aproximada al epicentro.

Según lo anterior, sólo se cuenta con la distancia del epicentro, por lo que se hace necesario saber la dirección, para esto se requiere de por lo menos 3 estaciones en diferente posición para la ubicación de otras distancias. Se trazan círculos de radio igual a la distancia epicentral y el área o el punto de intercepción es el epicentro.

Según Bazán/Meli (2000), para medir el tamaño de un sismo se utiliza la magnitud, su objetivo es medir la energía liberada por un temblor y su potencial destructiva.



### 2.10.1 Escala de Richter.

La escala más común es la de Richter, también llamada magnitud local  $M_L$ , ésta escala fue propuesta para sismos en California, empleando un sismógrafo en particular. Por esta razón algunos autores han propuesto escalas basadas en registros de los diferentes tipos de ondas que hay. Pero no dejen de tener limitaciones, debido a ciertas características ya que se saturan y ya no pueden avanzar después de llegar a valores de 8 aunque siga aumentando el temblor.

Debido a lo anterior, los sismólogos han desarrollado una medida más efectiva de la energía disipada por un sismo, ésta se conoce como momento sísmico  $M_0$ , este se define por el producto de la rigidez a cortante de la corteza terrestre por el área de ruptura y por el deslizamiento de la falla que genera el temblor.

Una manera de relacionar el momento sísmico con las escalas de magnitud, Hanks y Kanamori han definido una nueva escala con base en la fórmula:

$$M = 2 (\log Mo) / 3 - 10.7$$

Donde:

M = magnitud de momento sísmico.

Mo = dada en dinas-cm.

Esta escala tiene tendencia universal, debido a que tienen características para medir grandes sismos y no tiene base en ninguna onda sísmica. Esta ecuación tiene errores de un décimo aproximadamente, por lo tanto ayuda a precisar la magnitud y así determinar la destructividad de un temblor.

De acuerdo a su magnitud se pueden deducir los daños, menores de 3 son sismos instrumentales son difíciles de percibir. Los menores de 5 por lo general no producen daño, al menos cuando son superficiales o están cerca del epicentro. Los que están entre 5 y 7 causan daños en zonas pequeñas, de acuerdo al incremento de la magnitud aumenta la zona afectada y la violencia del sismo.

Para los ingenieros no es tan importante la magnitud del sismo como los efectos en los lugares donde existen edificaciones o donde se van a construir. Esto es la severidad de la energía sísmica que sufre el lugar, esta es una característica de los sismos se le llama intensidad.

Cabe mencionar que un mismo sismo tiene una magnitud, pero puede tener diferentes intensidades, dependiendo del sitio del registro. Esto es entre más se aleja

del epicentro la intensidad disminuye, mientras que para una distancia epicentral los sismos tienen mayor magnitud.

### **2.10.2 Escala de Mercalli.**

Las escalas para medir la intensidad tampoco son universales. Las escalas más utilizadas son de tipo instrumental donde su base está en función de la aceleración máxima del terreno en el sitio interés. Debido a estas limitaciones la mayoría de las veces no se puede contar con instrumentos colocados precisamente en el sitio donde es importante conocer su intensidad, por lo tanto se acude a utilizar escalas del tipo cualitativo donde su base son los daños producidos. La escala de Mercalli Modificada es la más utilizada para medir intensidades. Esta escala tiene valores entre I y XII, cuando son de IV o menores no tienen daño estructural y cuando es la intensidad de X tiene una destrucción total. Otra de sus limitaciones en esta escala es que sólo toma en cuenta a los edificios de la zona afectada.

### **2.11 Instrumentos de registro.**

De acuerdo con Bazán/Meli (2000), existen principalmente dos tipos de instrumentos para medir los sismos, éstos son: los sismógrafos y los acelerógrafos.

Su forma de operar es la misma para los dos, y consiste en una masa sujeta por un resorte y un amortiguador, el cual permite que este en reposo con respecto al movimiento del terreno, y si a esta masa se le sujeta un lápiz el cual en un papel pagado a un disco girando a una velocidad constante, pueda registrar así el movimiento del suelo.

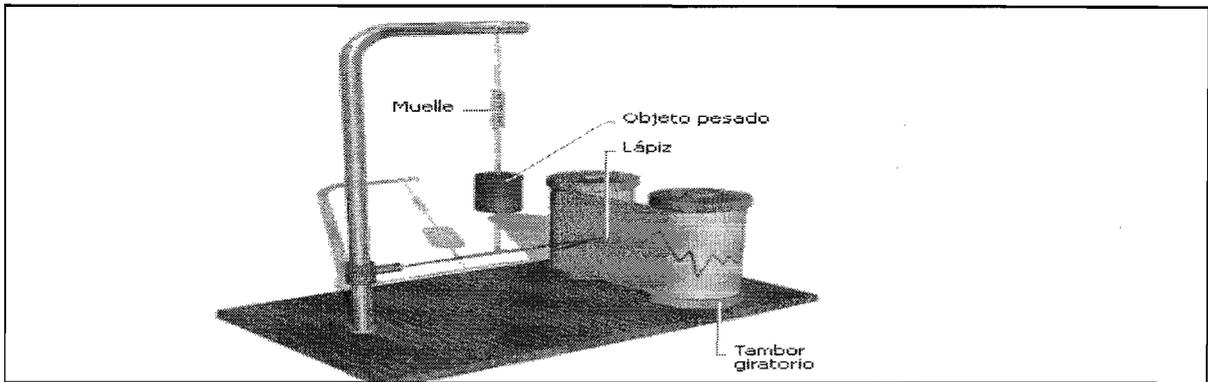


Figura 2.1 sismógrafo

Fuente: Enciclopedia Encarta 2007

Los sismógrafos son utilizados para determinar los epicentros y mecanismos focales. Se caracteriza por su alta sensibilidad, esto es ampliar decenas o centenas de veces la velocidad del terreno, esto es con un sismo muy pequeño y con uno a larga distancia, por lo contrario cuando el sismo es muy fuerte y está a una distancia muy corta este no tiene capacidad para registrarlo completo, debido a que su sensibilidad tiende a saturarse.

Los acelerógrafos son los que determinan la variación de las aceleraciones con el tiempo de acuerdo al sitio de colocación. Estos tienen tres sensores de registro de aceleraciones los cuales son dos en sentido horizontal y el otro en sentido vertical.

“Los parámetros más importantes para definir la intensidad del movimiento y sus efectos en las estructuras son la aceleración máxima, expresada generalmente como fracción de la gravedad, la duración de la fase intensa el movimiento, y el contenido de frecuencias.” (Bazán/Meli; 2000:21)

## 2.12 Sismicidad en México.

El CENAPRED (2007), indica que alrededor del 5% de la energía sísmica mundial ocurren en México, de acuerdo con apuntes de ingeniería sísmica las principales fuentes sísmicas son:

- Zona de Subducción: en esta zona ocurren la mayor parte de los sismos y de mayor magnitud, y con poca profundidad. Los sismos que ocurren a lo largo de costa del Pacífico, entre Jalisco y Chiapas, son causados por el proceso de subducción de la placa de Cocos y la Rivera debajo de la placa de Norteamérica.
- Zona de Transformación: esta zona está ubicada en el norte del país en la península de Baja California. Los sismos que se generan son debido al movimiento relativo entre la placa del Pacífico y de Norteamérica y es una extensión de la falla de San Andrés.
- Zona de Temblores de Fallamiento Normal: los sismos que se presentan en esta zona son de profundidad intermedia. Estos ocurren dentro del continente en lugares cercanos a la costa.

Estos temblores se presentan debajo de la zona de contacto entre las placas de Cocos y de Norteamérica a causa del esfuerzo gravitacional de la placa Cocos.

Los Sismos de fallamiento normal son de menor magnitud y ocurren con menor frecuencia que los de subducción, pero llegan a causar daños importantes debido a la cercanía de las poblaciones de acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional (2007) son:

- Zona de Fallas Locales: los temblores se presentan en el interior de la placa de Norteamérica como consecuencia de rompimientos de la corteza en zonas débiles, causados por los esfuerzos que se producen dentro de la placa. Su magnitud y frecuencia es menor en comparación a los demás, pero al ocurrir dentro del continente suelen ser catastróficos para las poblaciones cerca del epicentro.

Existe un sistema de fallas que dan origen a este tipo de sismos, su ubicación va desde Acambay en el estado de México hasta el Lago de Pátzcuaro, de hecho se presentó un temblor que generó destrucciones en esta población de Pátzcuaro a principios del siglo pasado.

En base a estudios realizados por el CENAPRED (2007), estadísticos y geofísicos en México se considera que el próximo temblor importante ocurrirá en las Costas de Guerrero. En esta región se tienen un tiempo de quietud sísmica mayor al periodo de retorno estimado. A estos lugares de quietud sísmica se les conoce como brechas sísmicas.

### **2.13 Efectos Sísmicos en los Edificios.**

Como lo indica Bazán/Meli (2000), el movimiento sísmico que se da en el suelo se transmite a la base de los edificios de la misma manera que el suelo, pero en el cuerpo o masa del edificio se oponen fuerzas al movimiento que se da en su base y por lo tanto se generan fuerzas de inercia que ponen en riesgo la estabilidad de la estructura.

Los movimientos del suelo son el sentido vertical y horizontal, siendo los primeros los más críticos.

La flexibilidad que presenta una estructura ante las fuerzas de inercia que actúan en ella no sólo son causa de la intensidad, sino también las propiedades que la constituyen influyen. Las fuerzas que actúan son proporcionales a la masa de la estructura y otras son causa de propiedades dinámicas que definen su forma de vibrar.

Para estimar la magnitud, posición, dirección y sentido de las fuerzas que un sismo produce en una determinada estructura, se emplean métodos de análisis sísmico, la mayoría de ellos basados en la segunda ley de Newton y en las características del sismo y las propiedades de la estructura.

En el anexo B se muestran las figuras correspondientes a muros de mampostería que han sufrido daños a causa de movimientos sísmicos por no adecuar un buen refuerzo a la estructura, así como gráficas que determinan el comportamiento de la mampostería según la relación carga sísmica- deformación.

## CAPÍTULO 3

### CRITERIOS DE DISEÑO PARA MUROS DE MAMPOSTERÍA

En el tercer capítulo se pretenden destacar los criterios de diseño para construcciones de mampostería establecidos en México, por lo que se citan las Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería (NTCEM), ya que es reglamento que rige la construcción de estructuras elaboradas con mampuestos.

#### **3.1 Diseño de muros de mampostería confinada.**

Este tipo de mampostería está reforzada con castillos y dalas. Para ser considerados como confinados, los muros deben cumplir con los requisitos establecidos por las Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería (fig. 3.1 y 3.2), cabe mencionar que este reglamento es el que regirá completamente el capítulo por ser las normas que rigen actualmente la construcción en mampostería a todo el país. En este caso los castillos se cuelan una vez construido el muro o la parte de él que corresponda.

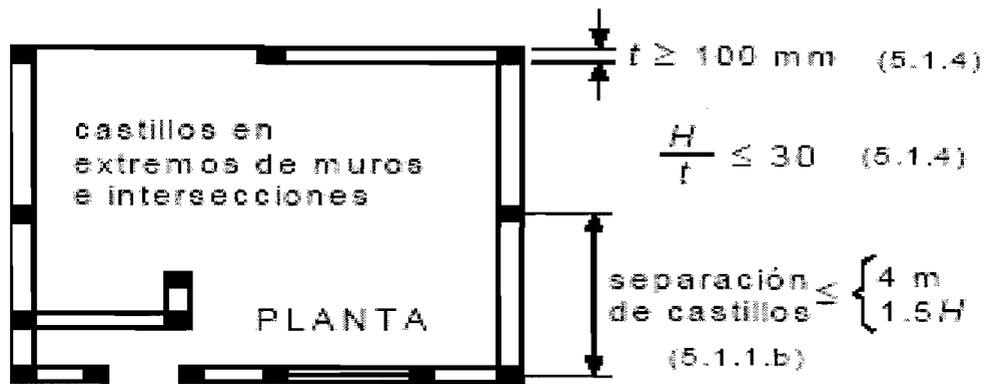


Figura 3.1 Requisitos para mampostería confinada

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

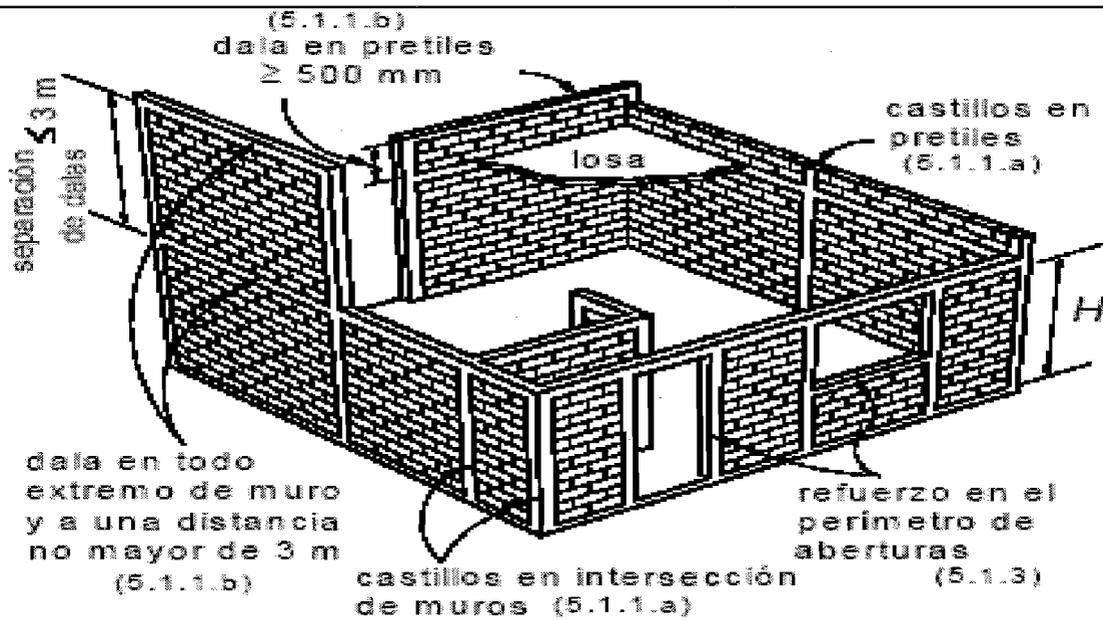


Figura 3.2 Diseño de dalas y castillos para muros confinados

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

Los muros se construirán e inspeccionarán como se indica en los siguientes apartados (3.1.1 y 3.1.2), respectivamente, donde se citan los artículos de la sección 9 de las NTCEM.

### **3.1.1 Piezas.**

Las fórmulas y procedimientos de cálculo especificados en las NTCEM, son aplicables en muros construidos con un mismo tipo de pieza, de arcilla, concreto o piedras naturales, se deberá deducir el comportamiento de los muros a partir de ensayos a escala natural, cumpliendo con los siguientes requisitos:

- Las piezas empleadas deberán ser limpias y sin rajaduras.
- Las piezas de barro deberán saturarse por lo menos 2 hrs. antes de su colocación. Las piezas a base de concreto deberán estar secas al colocarse. Es aceptable un rociado leve de las superficies sobre las que se colocará el mortero.
- Las piezas huecas se deberán colocar de modo que sus celdas y perforaciones sean ortogonales a la cara del apoyo.

### **3.1.2 Juntas de mortero.**

El mortero en las juntas cubrirá totalmente las caras horizontales y verticales de la pieza. Su espesor será el mínimo que permita una capa uniforme de mortero y la alineación de las piezas. Si se usan piezas de fabricación mecanizada, el espesor de las juntas horizontales no excederá de 12 mm si se coloca refuerzo horizontal en las

juntas, ni de 10 mm sin refuerzo horizontal. Si se usan piezas de fabricación artesanal, el espesor de las juntas no excederá de 15 mm. El espesor mínimo será de 6 mm.

### **3.1.3 Aparejo.**

La unión vertical de la mampostería con los castillos exteriores deberá detallarse para transmitir las fuerzas de corte. Se aceptará que la mampostería se deje dentada o bien, que se coloquen conectores metálicos o refuerzo horizontal. El colado del castillo se hará una vez construido el muro o la parte de él que corresponda.

Las fórmulas y procedimientos de cálculo especificados en las Normas que se están empleando son aplicables sólo si las piezas se colocan en forma cuatrapeada (fig. 3.3); para otros tipos de aparejo, el comportamiento de los muros deberá deducirse de ensayos a escala natural.

### **3.1.4 Concreto y mortero de relleno.**

Los huecos deberán estar libres de materiales extraños y de mortero de la junta. En castillos y huecos interiores se colocará el concreto o mortero de relleno de manera que se obtenga un llenado completo de los huecos. Se admite la compactación del concreto y mortero, sin hacer vibrar excesivamente el refuerzo. El colado de elementos interiores verticales se efectuará en tramos no mayores de:

a) 500 mm, si el área de la celda es de hasta 8 000 mm<sup>2</sup>; o

b) 1.5 m, si el área de la celda es mayor que 8 000 mm<sup>2</sup>.

Si por razones constructivas se interrumpiera la construcción del muro en ese día, el concreto o mortero de relleno deberá alcanzar hasta la mitad de la altura de la pieza de la última hilada (fig. 3.3). No es necesario llenar totalmente las perforaciones de las piezas multiperforadas. En muros con piezas huecas y multiperforadas sólo se rellenarán las celdas de las primeras (fig. 3.3).

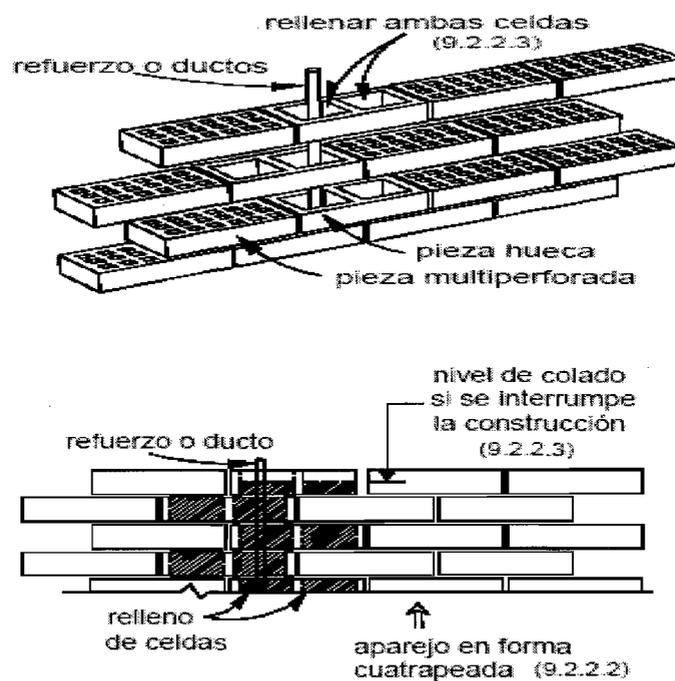


Fig.3.3 Relleno de las piezas

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería

No se permite doblar el refuerzo una vez iniciada la colocación del mortero o concreto.

### **3.1.5 Refuerzo.**

El refuerzo se colocará de manera que se asegure que se mantenga fijo durante el colado. El recubrimiento, separación y traslapes mínimos así como el refuerzo horizontal colocado en las juntas serán los que se especifican en la sección 3.3 ya establecidas en el reglamento utilizado.

No se admitirá traslape de barras de refuerzo colocadas en juntas horizontales, ni traslape de mallas de alambre soldado en una sección vertical del muro, ni de refuerzo vertical en muros de mampostería reforzada interiormente en la altura calculada de la articulación plástica por flexión.

### **3.2 Construcción de muros de mampostería confinada.**

En la construcción de muros, además de los requisitos de las secciones anteriores, se cumplirán los siguientes:

a) La dimensión de la sección transversal de un muro que cumpla alguna función estructural o que sea de fachada no será menor de 100 mm.

b) Todos los muros que se toquen o crucen deberán anclarse o ligarse entre sí, salvo que se tomen precauciones que garanticen su estabilidad y buen funcionamiento.

c) Las superficies de las juntas de construcción deberán estar limpias y rugosas. Se deberán humedecer en caso de usar piezas de arcilla.

d) Los muros de fachada que reciban recubrimiento de materiales pétreos naturales o artificiales deberán llevar elementos suficientes de liga y anclaje para soportar dichos recubrimientos.

e) Durante la construcción de todo muro se tomarán las precauciones necesarias para garantizar su estabilidad en el proceso de la obra, tomando en cuenta posibles empujes horizontales, incluso viento y sismo.

f) En muros reforzados con mallas de alambre soldado y recubrimiento de mortero, la superficie deberá estar saturada y libre de materiales que afecten la adherencia del mortero.

### **3.2.1 Tolerancias.**

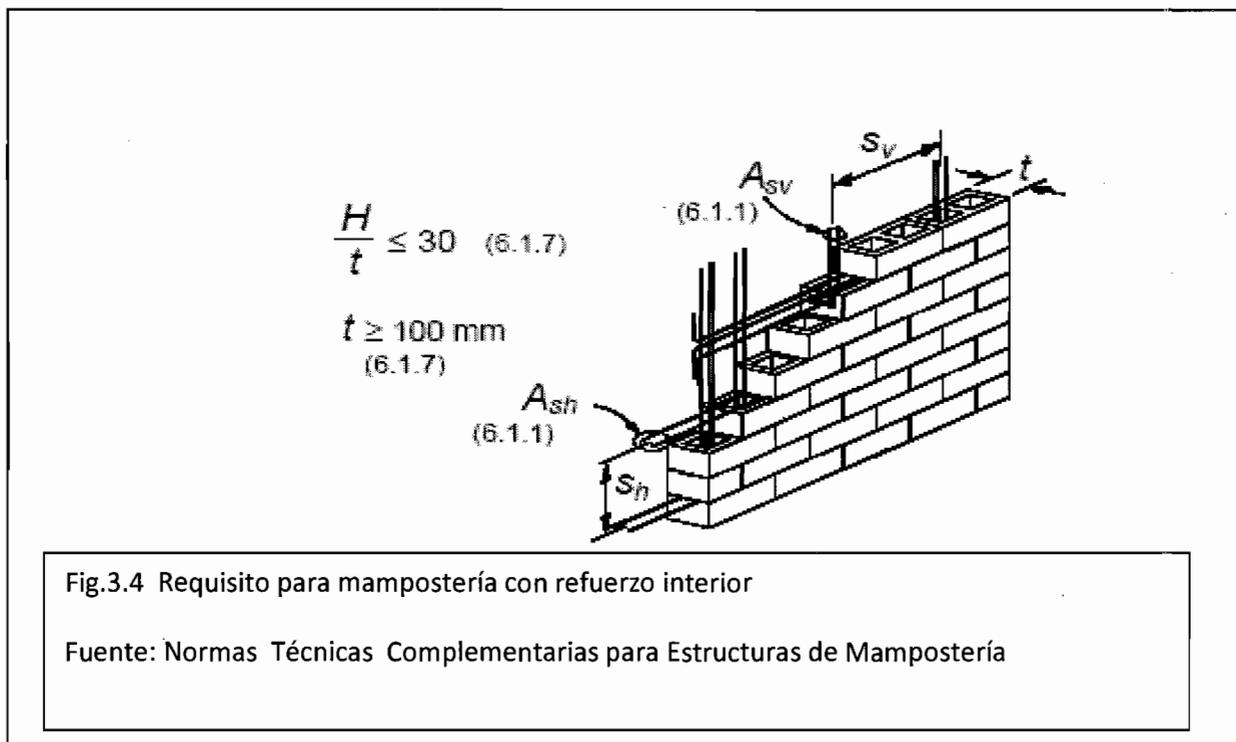
a) En ningún punto el eje de un muro que tenga función estructural distará más de 20 mm del indicado en los planos.

b) El desplomo de un muro no será mayor que 0.004 veces su altura ni 15 mm.

### 3.3 Diseño de muros de mampostería reforzada interiormente.

Es aquélla con muros reforzados con barras o alambres corrugados de acero, horizontales y verticales, colocados en las celdas de las piezas, en ductos o en las juntas. El acero de refuerzo, tanto horizontal como vertical, se distribuirá a lo alto y largo del muro. Para que un muro pueda considerarse como reforzado deberá ser reforzado como se muestra en la figura 3.4.

Para diseño por sismo se usará  $Q=1.5$ .



### **3.4 Diseño de muros de mampostería no confinada ni reforzada.**

Se considerarán como muros no confinados ni reforzados aquéllos que, aun contando con algún tipo de refuerzo interior o confinamiento (exterior o interior), no tengan el refuerzo necesario para ser incluidos en alguna de las categorías descritas en los temas anteriores de este capítulo. El espesor de la mampostería de los muros,  $t$ , no será menor de 100 mm.

Para diseño por sismo se usará un factor de comportamiento sísmico  $Q= 1$ .

Los muros se construirán e inspeccionarán como se indicó anteriormente.

### **3.5 Diseño de muros mampostería de piedras naturales.**

En este caso se refiere al diseño y construcción de cimientos, muros de retención y otros elementos estructurales de mampostería del tipo conocido como de tercera, o sea, formado por piedras naturales sin labrar unidas por mortero.

#### **3.5.1 Materiales**

A continuación se describe cómo debe ser la selección de los mampuesto, en este caso la piedra.

### 3.5.2 Piedras.

Las piedras que se empleen en elementos estructurales deberán satisfacer los requisitos siguientes:

- a) Su resistencia mínima a compresión en dirección normal a los planos de formación sea de 15 MPa (150 kg/cm<sup>2</sup>);
- b) Su resistencia mínima a compresión en dirección paralela a los planos de formación sea de 10 MPa (100 kg/cm<sup>2</sup>);
- c) La absorción máxima sea de 4 por ciento; y
- d) Su resistencia al intemperismo, medida como la máxima pérdida de peso después de cinco ciclos en solución saturada de sulfato de sodio, sea del 10 por ciento.

Las propiedades anteriores se determinarán de acuerdo con los procedimientos indicados en el capítulo CXVII de las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Obras Públicas (1971).

Las piedras no necesitarán ser labradas, pero se evitará, en lo posible, el empleo de piedras de formas redondeadas y de cantos rodados. Por lo menos, el 70 por ciento del volumen del elemento estará constituido por piedras con un peso mínimo de 300 N (30 kg), cada una.

### 3.5.3 Morteros.

Los morteros que se empleen para mampostería de piedras naturales deberán ser al menos del tipo III (tabla 1.4), tal que la resistencia mínima en compresión sea de 4 MPa (40 kg/cm<sup>2</sup>). La resistencia se determinará según lo especificado en la norma NMX-C-061-NNCCE.

### 3.6 Diseño.

A continuación se determinará como debe de ser el diseño de los muros de mampostería y los refuerzos que son necesarios para ser desplantados.

#### 3.6.1 Esfuerzos resistentes de diseño.

Los esfuerzos resistentes de diseño en compresión,  $f_m^*$ , y en cortante,  $v_m^*$ , se tomarán como sigue:

a) Mampostería unida con mortero de resistencia a compresión no menor de 5 MPa (50 kg/cm<sup>2</sup>).

$$F_R f_m^* = 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_R v_m^* = 0.6 \text{ kg/cm}^2$$

b) Mampostería unida con mortero de resistencia a compresión menor que 5 MPa (50 kg/cm<sup>2</sup>).

$$F_R f_m^* = 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_R Vm^* = 0.4 \text{ kg/cm}^2$$

Los esfuerzos de diseño anteriores incluyen ya un factor de resistencia, FR, que por lo tanto, no deberá ser considerado nuevamente en las fórmulas de predicción de resistencia.

### 3.6.2 Determinación de la resistencia.

Se verificará que, en cada sección, la fuerza normal actuante de diseño no exceda la fuerza resistente de diseño dada por la expresión

$$P_R = F_R f_m^* A_T \left( 1 - \frac{2e}{t} \right)$$

Donde 't' es el espesor de la sección y 'e' es la excentricidad con que actúa la carga y que incluye los efectos de empujes laterales si existen. La expresión anterior es válida cuando la relación entre la altura y el espesor medio del elemento de mampostería no excede de cinco; cuando dicha relación se encuentre entre cinco y diez, la resistencia se tomará igual al 80 por ciento de la calculada con la expresión anterior; cuando la relación exceda de diez deberán tomarse en cuenta explícitamente

los efectos de esbeltez en la forma especificada para mampostería de piedras artificiales.

La fuerza cortante actuante no excederá de la resistente obtenida de multiplicar el área transversal de la sección más desfavorable por el esfuerzo cortante resistente.

### 3.7 Cimientos.

En cimientos de piedra braza la pendiente de las caras inclinadas (escarpio), medida desde la arista de la dala o muro, no será menor que 1.5 (vertical): 1 (horizontal) (fig. 3.5).

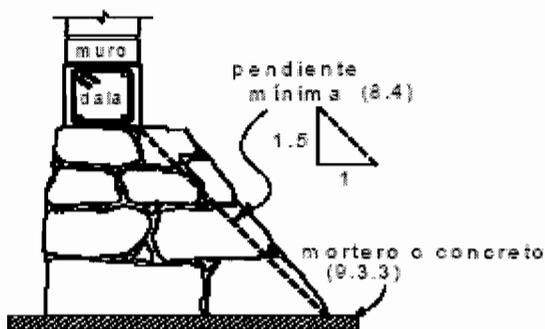


Fig. 3.5 Muro de mampostería como cimiento

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería

En cimientos de mampostería de forma trapezoidal con un talud vertical y el otro inclinado, tales como cimientos de lindero, deberá verificarse la estabilidad del cimiento a torsión. De no efectuarse esta verificación, deberán existir cimientos perpendiculares a separaciones no mayores de las que señala la tabla 3.1.

Presión de contacto con el terreno, kPa (kg/m <sup>2</sup> )	Claro máximo, m
menos de 20 (2 000)	10.0
más de 20 (2 000) hasta 25 (2 500)	9.0
más de 25 (2 500) hasta 30 (3 000)	7.5
más de 30 (3 000) hasta 40 (4 000)	6.0
más de 40 (4 000) hasta 50 (5 000)	4.5

Tabla 3.1 Separación máxima de cimientos perpendiculares a cimientos donde no se revise la estabilidad a torsión

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería

En la tabla 3.1, el claro máximo permisible se refiere a la distancia entre los ejes de los cimientos perpendiculares, menos el promedio de los anchos medios de éstos.

En todo cimiento deberán colocarse dalas de concreto reforzado, tanto sobre los cimientos sujetos a momento de volteo como sobre los perpendiculares a ellos. Los castillos deben empotrarse en los cimientos no menos de 400 mm. En el diseño se deberá considerar la pérdida de área debido al cruce de los cimientos.

### **3.8 Muros de mampostería de contención.**

En el diseño de muros de contención se tomará en cuenta la combinación más desfavorable de cargas laterales y verticales debidas a empuje de tierras, al peso propio del muro, a las demás cargas muertas que puedan obrar y a la carga viva que tienda a disminuir el factor de seguridad contra volteo o deslizamiento.

Los muros de contención se diseñarán con un sistema de drenaje adecuado. Se deberán cumplir las disposiciones del Capítulo 6 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones.

## **CAPÍTULO 4**

### **ALTERNATIVAS DE REFUERZO PARA MUROS DE MAMPOSTERÍA**

La Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (1999), comenta que el comportamiento dinámico de las edificaciones de mampostería, es un poco complicado ya que depende no sólo de la resistencia, la rigidez y la ductilidad de los paneles de mampostería, sino también, del tipo de diafragma de piso, de sus conexiones y por último de la magnitud de las cargas verticales de compresión a las que se encuentra sometida es por eso que es muy importante seleccionar la alternativa de refuerzo que cubra sus necesidades.

#### **4.1 Tipos de refuerzo para muros de mampostería confinada.**

A continuación se resumen los lineamientos de las NTCEM referentes al refuerzo en estructuras a base de mampuestos.

##### **4.1.1 Castillos y dalas exteriores.**

Los castillos y dalas deberán cumplir con lo establecido por las normas técnicas complementarias para estructuras de mampostería:

a) Existirán castillos por lo menos en los extremos de los muros e intersecciones con otros muros, y en puntos intermedios del muro a una separación no mayor que  $1.5H$  ni 4 m. Los pretilos o parapetos deberán tener castillos con una separación no mayor que 4 m.

b) Existirá una dala en todo extremo horizontal de muro, a menos que este último esté ligado a un elemento de concreto reforzado con un peralte mínimo de 100 mm (fig. 4.1). Aun en este caso, se deberá colocar refuerzo longitudinal y transversal como lo establecen las normas técnicas complementarias de estructuras de mampostería. Además, existirán dalas en el interior del muro a una separación no mayor de 3 m y en la parte superior de pretilos o parapetos cuya altura sea superior a 500 mm.

c) Los castillos y dalas tendrán como dimensión mínima el espesor de la mampostería del muro,  $t$ .

d) El concreto de castillos y dalas tendrá un resistencia a compresión,  $f_c'$ , no menor de 15 MPa (150 kg/cm<sup>2</sup>).

e) El refuerzo longitudinal del castillo y la dala deberá dimensionarse para resistir las componentes vertical y horizontal correspondientes del puntal de compresión que se desarrolla en la mampostería para resistir las cargas laterales y verticales. En cualquier caso, estará formado por lo menos de tres barras, cuya área total sea al menos igual a la obtenida con la siguiente ecuación.

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

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

f) El refuerzo longitudinal del castillo y la dala estará anclado en los elementos que limitan al muro de manera que pueda alcanzar su esfuerzo de fluencia.

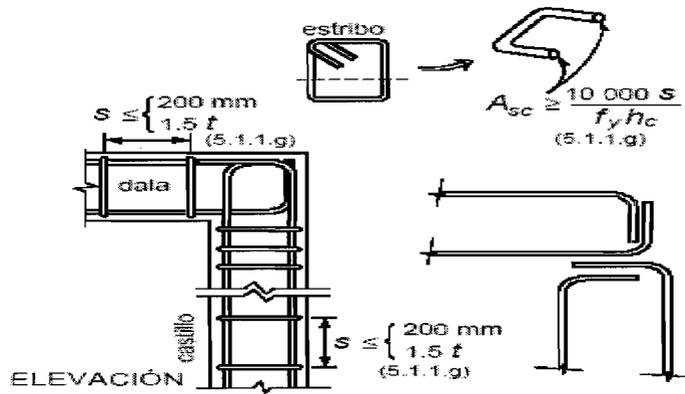
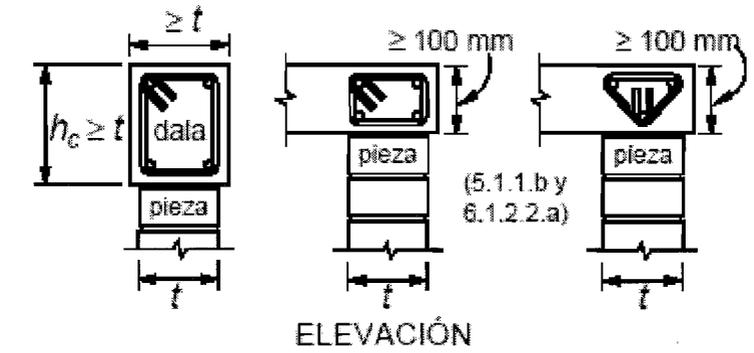
g) Los castillos y dalas estarán reforzados transversalmente por estribos cerrados y con un área,  $A_{sc}$ , al menos igual a la calculada con la ecuación:

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

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

h) Cuando la resistencia de diseño a compresión diagonal de la mampostería,  $v_m^*$ , sea superior a 6 kg/cm<sup>2</sup>, se suministrará refuerzo transversal, con área igual a la calculada con la ec. Anterior y con una separación no mayor que una hilada dentro de una longitud  $H_o$  en cada extremo de los castillos.

$H_o$  se tomará como el mayor de  $H/6$ ,  $2h_c$  y 400 mm.



**Figura 5.2 Castillos y dalas**

Figura 4.1 Tipo de refuerzo para dalas y castillos

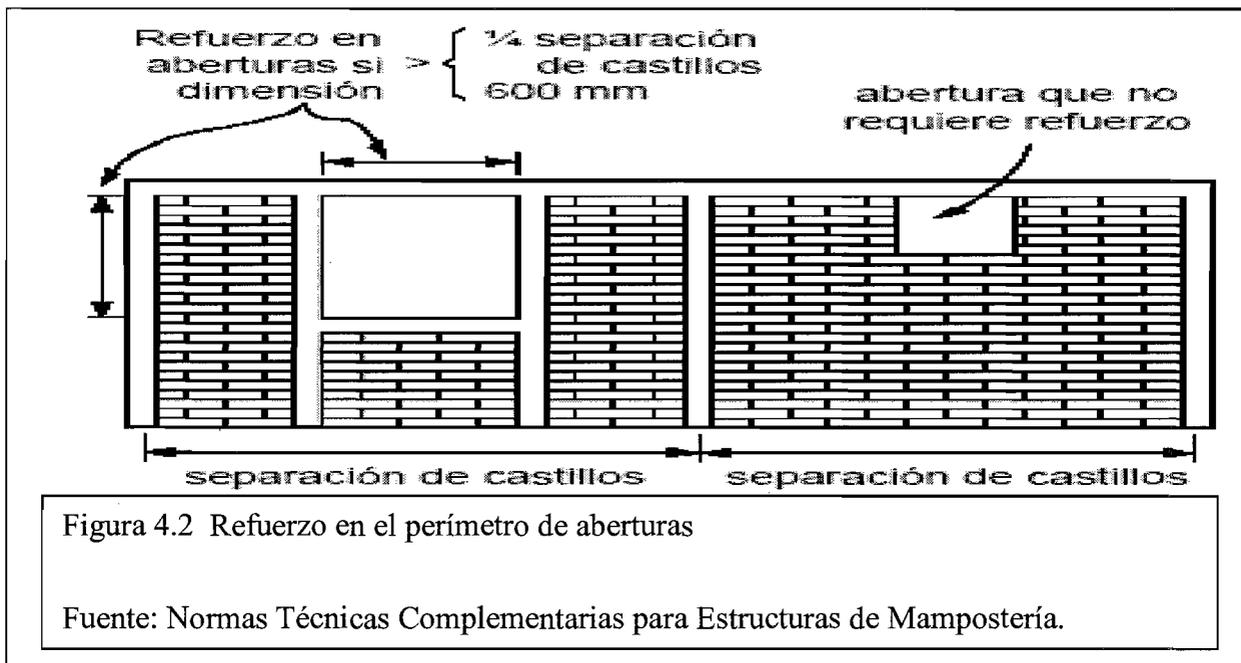
Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

## **4.2 Muros con castillos interiores.**

Se acepta considerar a los muros como confinados si los castillos interiores y las dalas cumplen con todos los incisos de la sección 5.1.1, con excepción de 5.1.1.c. de las NTCEM. Se aceptará usar concreto de relleno como los especificados en la sección 2.5.3 con resistencia a compresión no menor de 125 kg/cm<sup>2</sup>. Se deberán colocar estribos o grapas en los extremos de los castillos como se indica en el inciso 5.1.1.h, independientemente del valor de  $V_m^*$ . Para diseño por sismo, el factor de comportamiento sísmico Q, será igual a 1.5, indistintamente de la cuantía de refuerzo horizontal o de malla de alambre soldado.

## **4.3 Muros con aberturas.**

Existirán elementos de refuerzo con las mismas características que las dalas y castillos en el perímetro de toda abertura cuyas dimensiones horizontal o vertical excedan de la cuarta parte de la longitud del muro o separación entre castillos, o de 600 mm (fig. 5.3). También se colocarán elementos verticales y horizontales de refuerzo en aberturas con altura igual a la del muro. En muros con castillos interiores, se aceptará sustituir a la dala de la parte inferior de una abertura por acero de refuerzo horizontal anclado en los castillos que confinan a la abertura. El refuerzo consistirá de barras capaces de alcanzar en conjunto una tensión a la fluencia de 2980kg.



#### 4.4 Espesor y relación altura a espesor de los muros.

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

#### 4.5 Fuerzas y momentos de diseño.

Las fuerzas y momentos de diseño se obtendrán a partir de los análisis indicados en las secciones 3.2.2 y 3.2.3 de las NTCEM, empleando las cargas de diseño que incluyan el factor de carga correspondiente.

La resistencia ante cargas verticales y laterales de un muro de mampostería confinada deberá revisarse para el efecto de carga axial, la fuerza cortante, de momentos flexionantes en su plano y, cuando proceda, también para momentos flexionantes normales a su plano principal de flexión. En la revisión ante cargas laterales sólo se considerará la participación de muros cuya longitud sea mínimamente paralela a la dirección de análisis.

Cuando sean aplicables los requisitos del método simplificado de diseño sísmico, la revisión ante cargas laterales podrá limitarse a los efectos de la fuerza cortante. Cuando la estructura tenga más de tres niveles, adicionalmente a la fuerza cortante, se deberán revisar por flexión en el plano los muros que posean una relación altura total a longitud mayor que dos.

#### **4.6 Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro.**

Este apartado es importante y se debe determinar si el muro es confinado o es sin confinamiento.

#### 4.6.1 Resistencia a compresión de muros confinados.

La carga vertical resistente,  $P_R$ , se calculará como:

$$P_R = F_R F_E (f_m^* A_T + \sum A_s f_y)$$

donde

$F_E$  se obtendrá de acuerdo con la sección 3.2.2; y

$F_R$  se tomará igual a 0.6.

Alternativamente,  $P_R$  se podrá calcular con

$$P_R = F_R F_E (f_m^* + 0.4) A_T, \text{ si se usan MPa y mm}^2 \text{ (}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_R = F_R F_E (f_m^* + 4) A_T, \text{ si se usan kg/cm}^2 \text{ y cm}^2 \end{array} \right)$$

Ecuaciones para la obtención del factor  $P_R$

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

#### 4.6.2 Resistencia a flexocompresión en el plano del muro.

##### 4.6.2.1 Método general de diseño.

La resistencia a flexión pura o flexocompresión en el plano de un muro confinado exterior o interiormente se calculará con base en las hipótesis estipuladas en la sección correspondiente de las normas técnicas complementarias para estructuras de mampostería. La resistencia de diseño se obtendrá afectando la resistencia por el factor de resistencia que le corresponda.

#### 4.6.2.2 Método optativo.

Para muros con barras longitudinales colocadas simétricamente en sus castillos extremos, sean éstos exteriores o interiores, las fórmulas simplificadas siguientes (ecs. 5.5 y 5.6) proporcionadas por las NTCEM, dan valores suficientemente aproximados y conservadores del momento flexionante resistente de diseño.

El momento flexionante resistente de diseño de la sección,  $M_R$ , se calculará de acuerdo con las ecuaciones siguientes.

El momento flexionante resistente de diseño de la sección,

$M_R$ , se calculará de acuerdo con las ecuaciones:

$$M_R = F_R M_o + 0.3 P_u d; \quad \text{si } 0 \leq P_u \leq \frac{P_R}{3}$$

$$M_R = (1.5 F_R M_o + 0.15 P_R d) \left( 1 - \frac{P_u}{P_R} \right); \quad \text{si } P_u > \frac{P_R}{3}$$

donde

$M_o = A_s f_y d'$  resistencia a flexión pura del muro;

$A_s$  área total de acero de refuerzo longitudinal colocada en cada uno de los castillos extremos del muro;

$d'$  distancia entre los centroides del acero colocado en ambos extremos del muro;

$d$  distancia entre el centroide del acero de tensión y la fibra a compresión máxima;

$P_u$  carga axial de diseño a compresión, cuyo valor se tomará con signo positivo en las ecs. 5.5 y 5.6; y

$F_R$  se tomará igual a 0.8, si  $P_u \leq P_R / 3$  e igual a 0.6 en caso contrario.

Ecuaciones para la obtención del momento flexionante resistente de diseño de MR

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

Para cargas axiales de tensión será válido interpolar entre la carga axial resistente a tensión pura y el momento flexionante resistente  $M_o$ , afectando el resultado por  $F_R=0.8$ .

## **4.7 Resistencia a cargas laterales.**

### **4.7.1 Consideraciones generales.**

No se considerará incremento alguno de la fuerza cortante resistente por efecto de las dalas y castillos de muros confinados de acuerdo con la sección 5.1 de las normas técnicas complementarias para estructuras de mampostería.

La resistencia a cargas laterales será proporcionada por la mampostería utilizada. Se acepta que parte de la fuerza cortante sea resistida por acero de refuerzo horizontal o por mallas de alambre electrosoldado. Cuando la carga vertical que cae sobre el muro sea de tensión se aceptará que el acero de refuerzo horizontal o mallas de alambre electrosoldado resistan la totalidad de la carga lateral. Cuando se use el método simplificado de análisis, la resistencia a fuerza cortante de los muros se afectará por el factor FAE definido por la ec. de las normas técnicas complementarias para estructuras de mampostería. El factor de resistencia,  $F_R$ , se tomará igual a 0.7

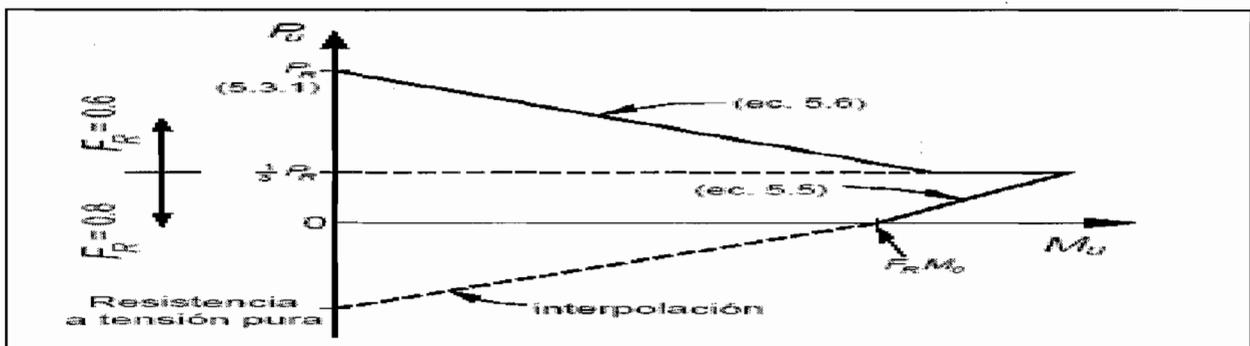


Figura 4.3 Diagrama de interacción de carga axial, momento flexionante resistente de diseño con el método optativo.

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

#### 4.7.2 Fuerza cortante resistida por la mampostería.

La fuerza cortante resistente de diseño,  $V_{mR}$ , se determinará como sigue:

$$V_{mR} = F_R (0.5V_m^* A_T + 0.3P) \leq 1.5F_R V_m^* A_T$$

donde  $P$  se deberá tomar positiva en compresión. En el área  $A_T$  se debe incluir a los castillos pero sin transformar el área transversal.

Ecuación para la obtención del  $V_{mR}$ .

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

La carga vertical  $P$  que actúa sobre el muro deberá considerar las acciones permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor y sin multiplicar por el factor de carga. Si la carga vertical  $P$  es de tensión, se despreciará la contribución de la mampostería  $V_{mR}$ .

La resistencia a compresión diagonal de la mampostería para diseño,  $V_m^*$ , no deberá exceder de 0.6 MPa (6 kg/cm<sup>2</sup>), a menos que se demuestre con ensayos que satisfagan la sección 2.8.2.1, que se pueden alcanzar mayores valores. En adición, se deberá demostrar que se cumplen con todos los requisitos de materiales, análisis, diseño y construcción aplicables.

#### **4.8 Fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal.**

##### **4.8.1 Tipos de acero de refuerzo.**

Se permitirá el uso de acero de refuerzo horizontal colocado en las juntas de mortero para resistir fuerza cortante. El refuerzo consistirá de barras corrugadas o alambres corrugados laminados en frío que sean continuos a lo largo del muro.

No se permite el uso de armaduras planas de alambres de acero soldados por resistencia eléctrica ("escaleras") para resistir fuerza cortante inducida por sismo.

El esfuerzo especificado de fluencia para diseño,  $f_{yh}$ , no deberá ser mayor que 600 MPa (6 000 kg/cm<sup>2</sup>). El refuerzo horizontal se detallará como se indica en las normas técnicas complementarias para estructuras de mampostería.

#### 4.8.2 Separación del acero de refuerzo horizontal.

La separación máxima del refuerzo horizontal,  $s_h$ , no excederá de seis hiladas ni de 600 mm.

#### 4.8.3 Cuantías mínima y máxima del acero de refuerzo horizontal.

Si se coloca acero de refuerzo horizontal para resistir fuerza cortante, la cuantía de acero de refuerzo horizontal,  $p_h$ , no será inferior a  $3/f_{yh}$ , si se usan  $\text{kg/cm}^2$  ni al valor que resulte de la ecuación 5.8 d las NTCEM.

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

En ningún caso  $p_h$  será mayor que  $0.3 \frac{f_m^*}{f_{yh}}$ ; ni que

$1.2/f_{yh}$  para piezas macizas, ni que  $0.9/f_{yh}$  para piezas huecas si se usan MPa ( $12/f_{yh}$  y  $9/f_{yh}$ , respectivamente, si se usan  $\text{kg/cm}^2$ ).

Ecuación para obtención de la cuantía de refuerzo

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

#### 4.8.4 Diseño del refuerzo horizontal.

La fuerza cortante que toma el refuerzo horizontal,  $V_{sR}$ , se calculará con

$$V_{sR} = F_R \eta p_h f_{yh} A_T$$

Ecuación para la obtención del  $V_{sR}$ .

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

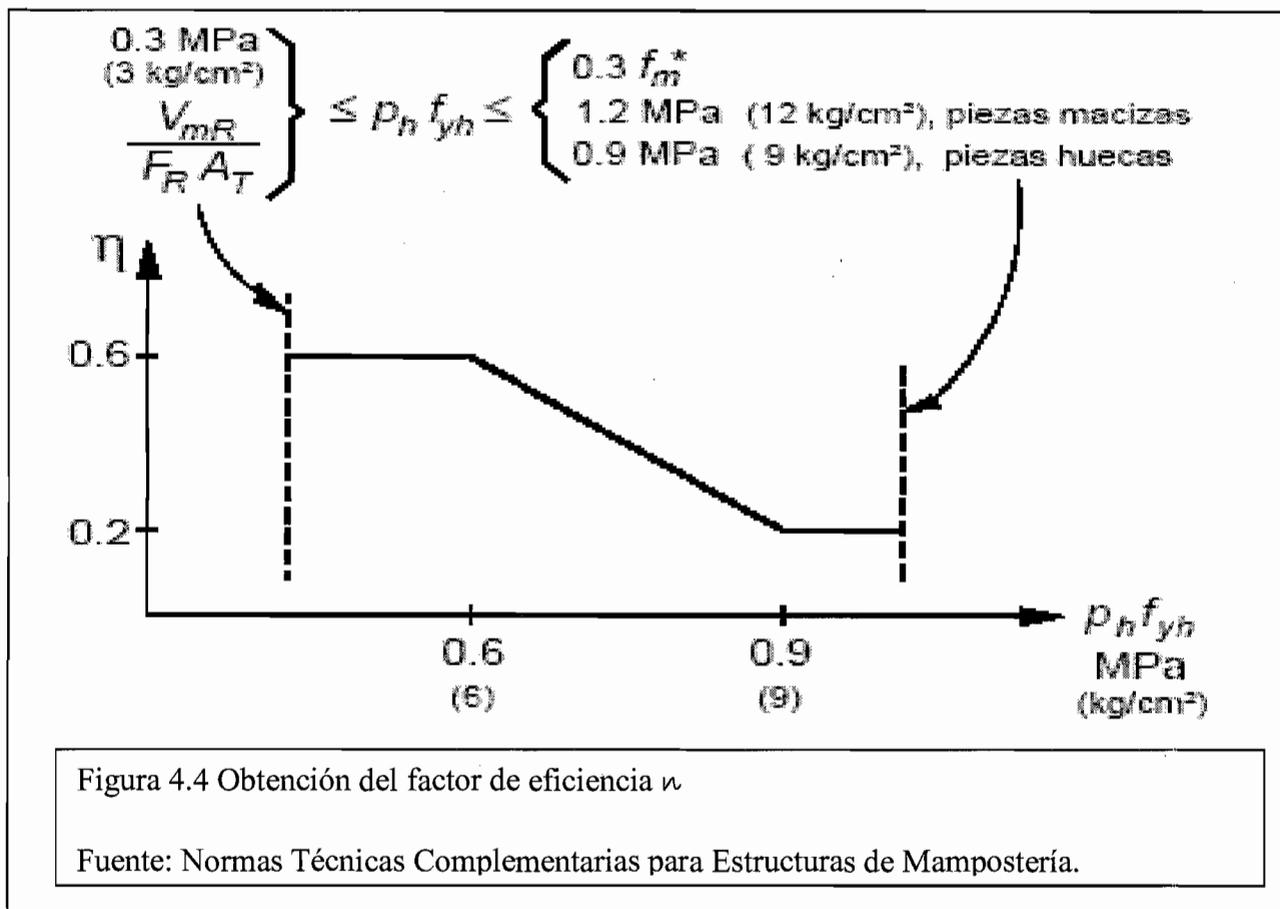
El factor de eficiencia del refuerzo horizontal,  $\eta$ , se determinará con el criterio siguiente:

$$\eta = \begin{cases} 0.6 ; & \text{si } p_h f_{yh} \leq 0.6 \text{ MPa (6 kg/cm}^2\text{)} \\ 0.2 ; & \text{si } p_h f_{yh} \geq 0.9 \text{ MPa (9 kg/cm}^2\text{)} \end{cases}$$

Para valores de  $p_h f_{yh}$  comprendidos entre 0.6 y 0.9 MPa (6 y 9 kg/cm<sup>2</sup>),  $\eta$  se hará variar linealmente

Fórmula para la obtención de  $\eta$

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.



#### 4.9 Tipos de refuerzo para muros de mampostería reforzados externamente.

##### 4.9.1 Fuerza cortante resistida por malla de alambre electrosoldada recubierta de mortero.

Se permitirá el uso de mallas de alambre soldado para resistir la fuerza cortante. Las mallas deberán tener en ambas direcciones la misma área de refuerzo por unidad de longitud. El esfuerzo de fluencia para diseño,  $f_{yh}$ , no deberá ser mayor que 5000 kg/cm<sup>2</sup>. Las mallas se anclarán y se detallarán como se señala en las secciones 3.3.4.3, 3.3.6.5 y 3.3.6.6 de las normas técnicas complementarias para estructuras de mampostería. Las mallas deberán ser recubiertas por una capa de mortero tipo I (tabla 1.4) con espesor mínimo de 15 mm.

#### **4.9.2 Cuantías mínima y máxima de refuerzo.**

Para fines de cálculo, sólo se considerará la cuantía de los alambres horizontales. Si la malla se coloca con los alambres inclinados, en el cálculo de la cuantía se considerarán las componentes horizontales. En el cálculo de la cuantía sólo se incluirá el espesor de la mampostería del muro,  $t$ . Las cuantías mínima y máxima serán las prescritas en las NTCEM.

#### **4.9.3 Diseño de la malla.**

La fuerza cortante que tomará la malla se obtendrá como se indica en sección 5.4.3.4. de las NTCEM, no se considerará contribución a la resistencia por el mortero.

#### **4.10 Refuerzo para muros de mampostería con refuerzo interior.**

##### **4.10.1 Cuantías de acero de refuerzo horizontal y vertical.**

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

b) Cuando se emplee acero de refuerzo con esfuerzo de fluencia especificado mayor que 412 MPa (4 200 kg/cm<sup>2</sup>), las cuantías de refuerzo calculadas en el inciso 6.1.1.a se podrán reducir multiplicándolas por 412 /  $f_y$ , en MPa (4200 /  $f_y$ , en kg/cm<sup>2</sup>).

$$p_h + p_v \geq 0.002$$

$$p_h \geq 0.0007; \quad p_v \geq 0.0007$$

donde

$$p_h = \frac{A_{sh}}{s_h t}; \quad p_v = \frac{A_{sv}}{s_v t};$$

$A_{sh}$  área de acero de refuerzo horizontal que se colocará a una separación vertical  $s_h$

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

Ecuaciones para determinar área de acero  $A_s$  cargas horizontales y verticales  $P_h$  y  $P_v$

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

#### 4.10.2 Refuerzo vertical.

El refuerzo vertical en el interior del muro tendrá una separación no mayor de seis veces el espesor del mismo ni mayor de 800 mm.

#### 4.10.3 Refuerzo en los extremos de muros.

a) Existirá una dala en todo extremo horizontal de muro, a menos que este último esté ligado a un elemento de concreto reforzado con un peralte mínimo de 100 mm. Aún en este caso, se deberá colocar refuerzo longitudinal y transversal.

b) El refuerzo longitudinal de la dala deberá dimensionarse para resistir la componente horizontal del puntal de compresión que se desarrolle en la mampostería para resistir las cargas laterales y verticales. En cualquier caso, estará formado por lo menos de tres barras, cuya área total sea al menos igual a la obtenida con la siguiente ecuación:

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

Ecuación para determinar  $A_s$  (área de acero)

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

El refuerzo transversal de la dala estará formado por estribos cerrados y con un área,  $A_{sc}$ , al menos igual a la calculada con la ecuación que a continuación se muestra:

$$A_{sc} = 1000 S / f_y h_c \text{ en kg / cm}$$

Ecuación para obtener el refuerzo transversal  $A_{sc}$ .

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

Donde:

$H_c$  es la dimensión de la dala en el plano del muro.

$S$  es la separación de los estribos que no puede exceder de  $1.5 t$  ni de 200 mm.

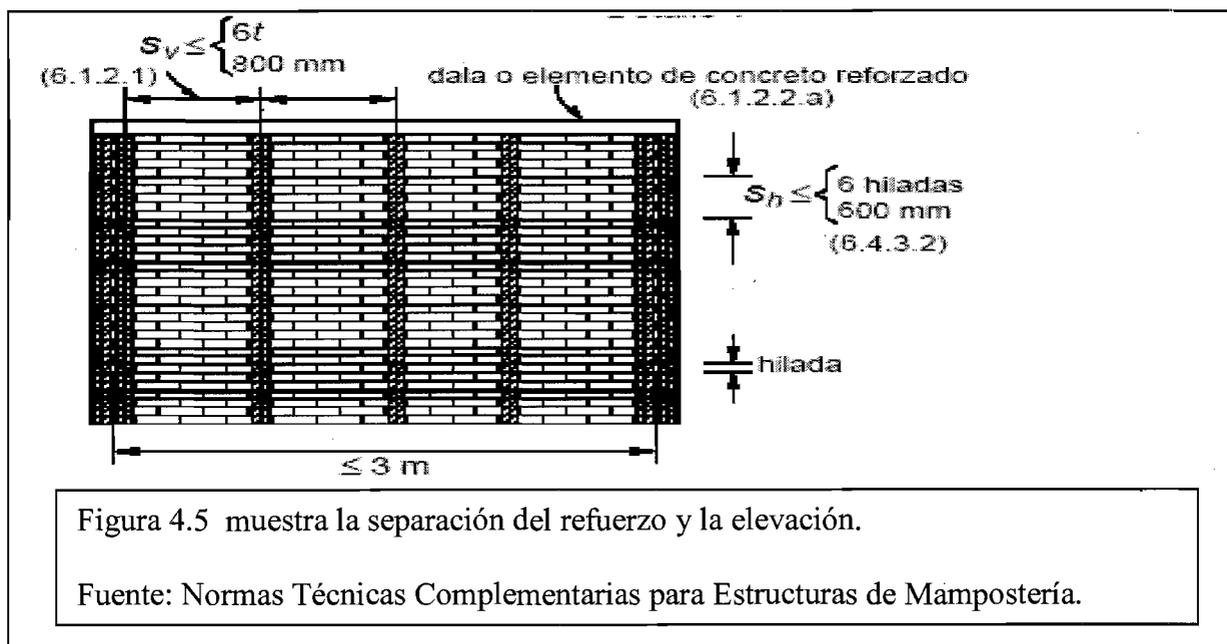
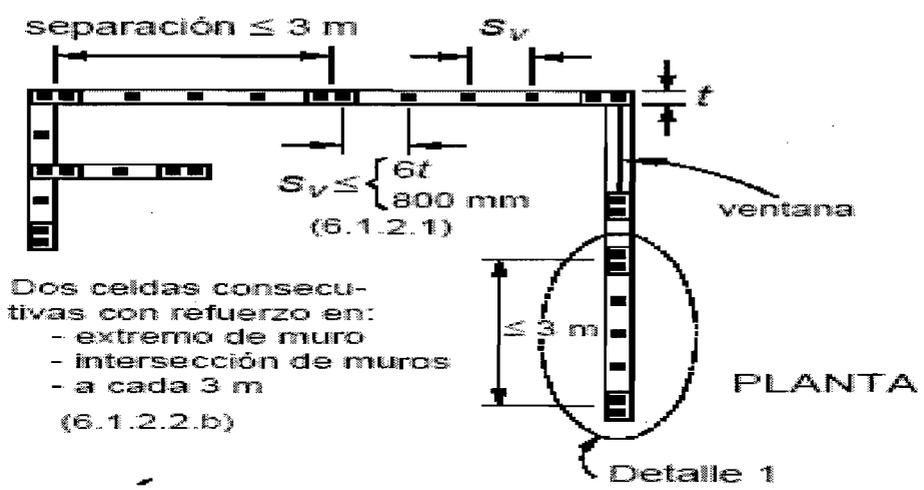


Figura 4.5 muestra la separación del refuerzo y la elevación.

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.



$H/t \leq 30$

$t \geq 100$  mm

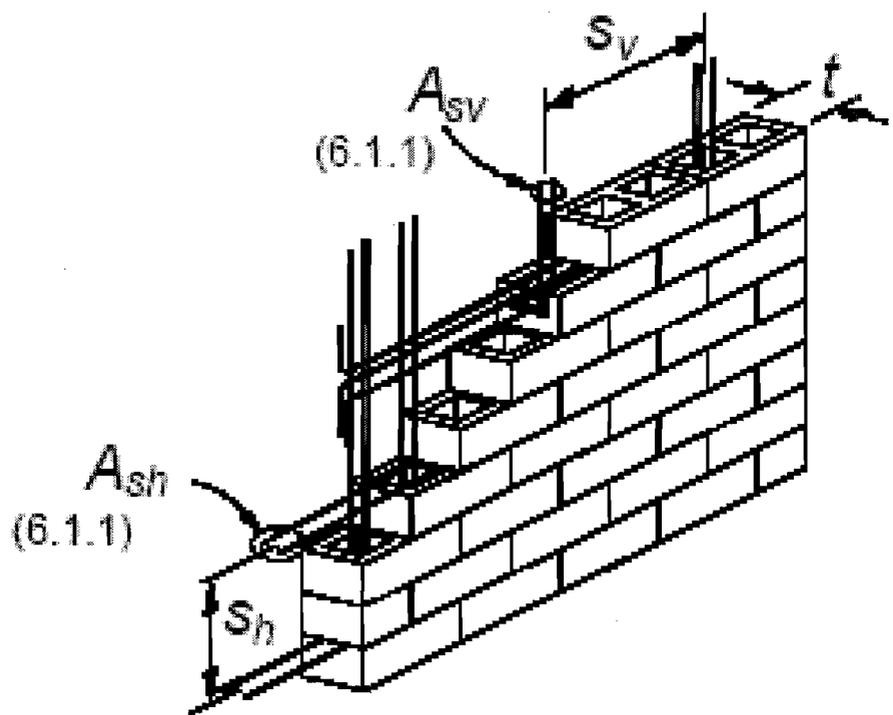


Figura 4.6 Requisitos para mampostería con refuerzo interior.  
Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

Según lo especificado por las NTCEM (2007), deberá colocarse por lo menos una barra No. 3 (9.5 mm de diámetro) con esfuerzo especificado de fluencia de 412 MPa (4 200 kg/cm<sup>2</sup>), o refuerzo de otras características con resistencia a tensión equivalente, en cada una de dos celdas consecutivas, en todo extremo de muros, en la intersecciones entre muros o a cada 3 m.

#### **4.10.4 Mortero y concreto de relleno.**

Para el colado de las celdas donde se aloje el refuerzo vertical podrán emplearse los morteros y concretos de relleno especificados en la sección 2.5.3, o el mismo mortero que se usa para pegar las piezas, si es del tipo I (sección 2.5.2 de las NTCEM). El hueco de las piezas (celda) tendrá una dimensión mínima mayor de 50 mm y un área no menor de 3000 mm<sup>2</sup>.

#### **4.10.5 Anclaje del refuerzo horizontal y vertical.**

Las barras de refuerzo horizontal y vertical deberán cumplir con las especificaciones sección 3.3.6 de las Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

#### 4.10.6 Muros transversales.

Cuando los muros transversales sean de carga y lleguen a tope, sin traslape de piezas, será necesario unirlos mediante dispositivos que aseguren la continuidad de la estructura (fig. 4.6). Los dispositivos deberán ser capaces de resistir 1.33 veces la resistencia de diseño a fuerza cortante del muro transversal dividida por el factor de resistencia correspondiente. En la resistencia de diseño se incluirá la fuerza cortante resistida por la mampostería y, si aplica, la resistida por el refuerzo horizontal.

Alternativamente, el área de acero de los dispositivos o conectores,  $A_{st}$ , colocada a una separación  $s$  en la altura del muro, se podrá calcular mediante la expresión siguiente:

$$A_{st} = \frac{2.5(V_{mR} + V_{sR})}{F_R} \frac{t}{L} \frac{s}{f_y}$$
$$\left( A_{st} = \frac{V_{mR} + V_{sR}}{4F_R} \frac{t}{L} \frac{s}{f_y} \right)$$

Ecuación para la obtención del área de acero transversal  $A_{st}$ .

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

Donde  $A_{st}$  está en  $\text{mm}^2$  ( $\text{cm}^2$ ),  $V_{mR}$  y  $V_{sR}$ , en N (kg), son las fuerzas cortantes resistidas por la mampostería y el refuerzo horizontal, si aplica,  $F_R$  se tomará igual a 0.7,  $t$  y  $L$  son el espesor y longitud del muro transversal en mm (cm), y  $f_y$  es el refuerzo especificado de fluencia de los dispositivos o conectores, en MPa ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). La separación  $s$  no deberá exceder de 300 mm.

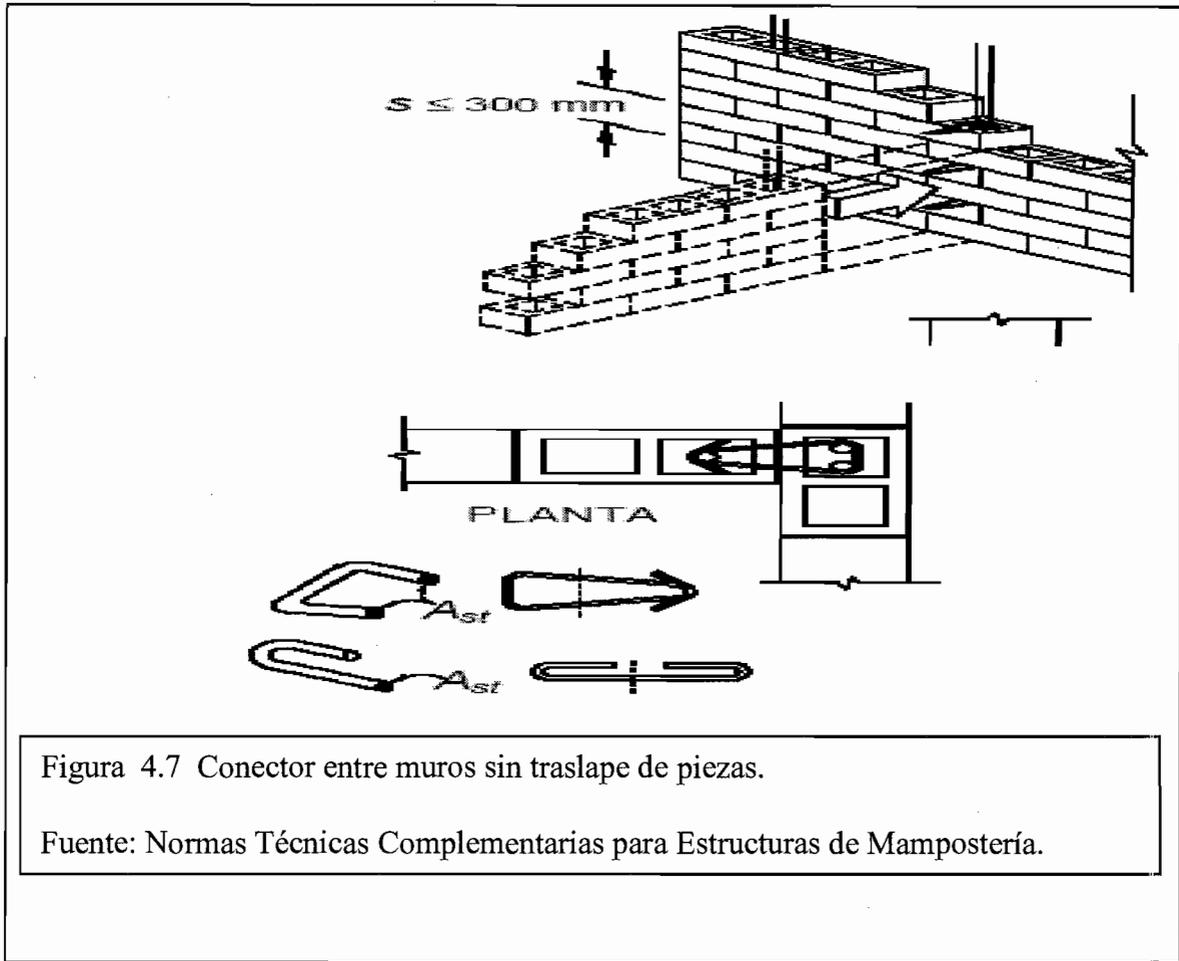


Figura 4.7 Conector entre muros sin traslape de piezas.

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

#### 4.10.7 Muros con aberturas.

Existirán elementos de refuerzo vertical y horizontal en el perímetro de toda abertura cuya dimensión exceda de la cuarta parte de la longitud del muro, de la cuarta parte de la distancia entre intersecciones de muros o de 600 mm, o bien en aberturas con altura igual a la del muro de la figura 4.7.

#### 4.10.8 Espesor y relación altura a espesor de los muros.

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

#### 4.10.9 Pretiles.

Los pretiles o parapetos deberán reforzarse interiormente con barras de refuerzo vertical como las especificadas en el inciso 6.1.2.2.b. Se deberá proporcionar refuerzo horizontal en la parte superior de pretiles o parapetos cuya altura sea superior a 500 mm de acuerdo con la sección 6.1.6 de las normas técnicas complementarias para estructuras de mampostería (fig. 4.8).

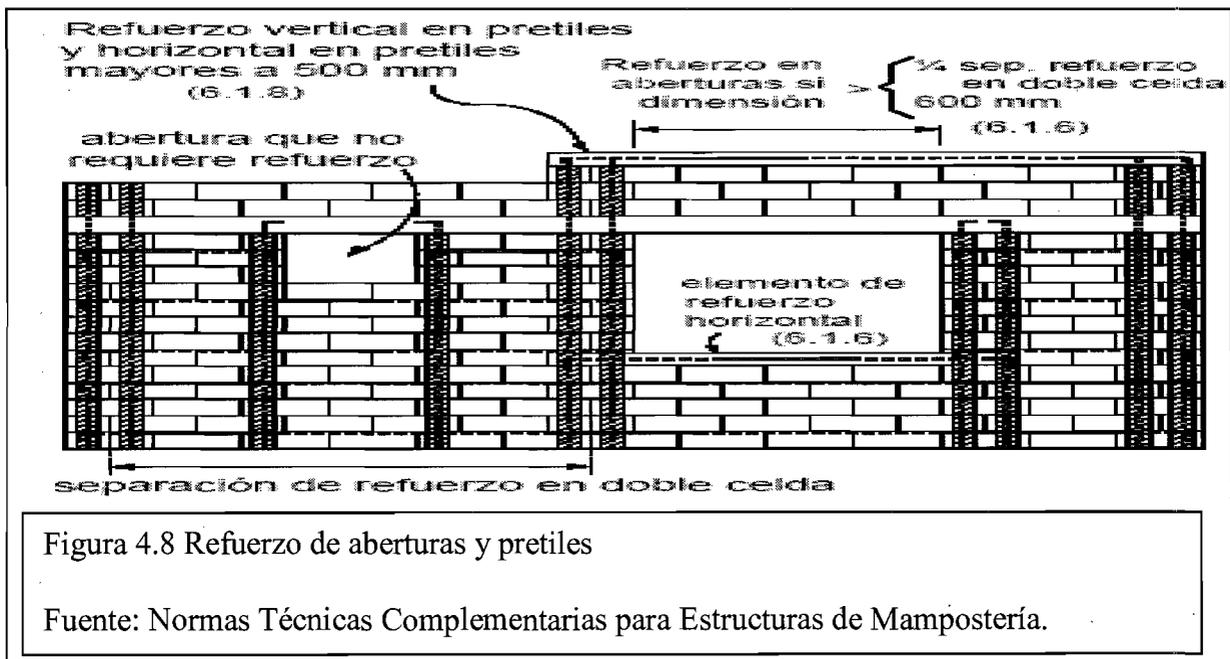


Figura 4.8 Refuerzo de aberturas y pretiles

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

#### **4.11 Supervisión.**

Deberá haber una supervisión continua en la obra que asegure que el refuerzo esté colocado de acuerdo con lo indicado en planos y que las celdas en que se aloja el refuerzo sean coladas completamente.

#### **4.12 Fuerzas y momentos de diseño.**

Las fuerzas y momentos de diseño se obtendrán a partir de los análisis indicados en las secciones 3.2.2 y 3.2.3 de las NTCEM, empleando las cargas de diseño que incluyan el factor de carga correspondiente.

La resistencia ante cargas verticales y laterales de un muro de mampostería reforzada interiormente deberá revisarse para el efecto de carga axial, la fuerza cortante, de momentos flexionantes en su plano y, cuando proceda, también para momentos flexionantes normales a su plano principal de flexión. En la revisión ante cargas laterales sólo se considerará la participación de muros cuya longitud sea sensiblemente paralela a la dirección de análisis. (La revisión ante cargas verticales se realizará conforme a lo establecido en la sección 3.2.2).

Cuando sean aplicables los requisitos del método simplificado de diseño sísmico (sección 3.2.3.3 NTCEM), la revisión ante cargas laterales podrá limitarse a los efectos de la fuerza cortante. Cuando la estructura tenga más de tres niveles, adicionalmente a la fuerza cortante, se deberán revisar por flexión en el plano los muros que posean una relación altura total a longitud mayor que dos.

#### 4.13 Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro.

##### 4.13.1 Resistencia a compresión de mampostería con refuerzo interior.

La carga vertical resistente,  $P_R$ , se calculará como:

$$P_R = F_R F_E (f_m^* A_T + \sum A_s f_y) \leq 1.25 F_R F_E f_m^* A_T$$

donde

$F_E$  se obtendrá de acuerdo con la sección 3.2.2; y

$F_R$  se tomará igual a 0.6.

Alternativamente,  $P_R$  se podrá calcular con

$$P_R = F_R F_E (f_m^* + 0.7) A_T \leq 1.25 F_R F_E f_m^* A_T$$

si se usan MPa y mm<sup>2</sup>

$$\left( P_R = F_R F_E (f_m^* + 7) A_T \leq 1.25 F_R F_E f_m^* A_T \right)$$

si se usan kg/cm<sup>2</sup> y cm<sup>2</sup>

Ecuaciones para el cálculo de la carga resistente  $P_R$ .

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

#### 4.14 Resistencia a flexocompresión en el plano del muro.

##### 4.14.1 Método general de diseño.

La resistencia a flexión pura o flexocompresión en el plano de un muro confinado exterior o interiormente se calculará con base en las hipótesis estipuladas en la sección 3.1.6. La resistencia de diseño se obtendrá afectando la resistencia por el factor de resistencia indicado en la sección 3.1.4.2 de las NTCEM.

##### 4.14.2 Método optativo.

Para muros con barras longitudinales colocadas simétricamente en sus extremos, las fórmulas simplificadas siguientes (ecs. 6.8 y 6.9) dan valores suficientemente aproximados y conservadores del momento flexionante resistente de diseño.

El momento flexionante resistente de diseño de la sección,  $M_R$ , se calculará de acuerdo con las ecuaciones siguientes.

$$M_R = F_R M_o + 0.3 P_u d ; \quad \text{si } 0 \leq P_u \leq \frac{P_R}{3}$$
$$M_R = (1.5F_R M_o + 0.15 P_R d) \left( 1 - \frac{P_u}{P_R} \right) ; \quad \text{si } P_u > \frac{P_R}{3}$$

Donde

$M_o = A_s f_y d'$  resistencia a flexión pura del muro;

$A_s$  área total de acero de refuerzo longitudinal colocada en los extremos del muro;

$d'$  distancia entre los centroides del acero colocado en ambos extremos del muro;

$d$  distancia entre el centroide del acero de tensión y la fibra a compresión máxima;

$P_u$  carga axial de diseño a compresión, cuyo valor se tomará con signo positivo en las ecs. 6.8 y 6.9; y

$F_R$  se tomará igual a 0.8, si  $P_u \leq P_R/3$  e igual a 0.6 en caso contrario.

Ecuaciones para el cálculo del momento resistente MR.

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

Para cargas axiales de tensión será válido interpolar entre la carga axial resistente a tensión pura y el momento flexionante resistente  $M_o$ , afectando el resultado por  $F_R=0.8$ .

#### **4.15 Resistencia a cargas laterales.**

##### **4.15.1 Consideraciones generales.**

La resistencia a cargas laterales será proporcionada por la mampostería utilizada. Se acepta que parte de la fuerza cortante sea resistida por acero de refuerzo horizontal. Cuando la carga vertical que obre sobre el muro sea de tensión se aceptará que el acero de refuerzo horizontal resista la totalidad de la carga lateral.

Cuando se use el método simplificado de análisis, la resistencia a fuerza cortante de los muros (calculada en las secciones 6.4.2 y 6.4.3 de las NTCEM) se afectará por el factor  $F_{AE}$  definido por la ec. 3.4 descrita anteriormente. El factor de resistencia,  $F_R$ , se tomará igual a 0.7.

#### 4.15.2. Fuerza cortante resistida por la mampostería.

La fuerza cortante resistente de diseño,  $V_{mR}$ , se determinará como se muestra en la siguiente ilustración:

$$V_{mR} = F_R (0.5v_m^* A_T + 0.3P) \leq 1.5F_R v_m^* A_T$$

donde P se deberá tomar positiva en compresión.

Ecuación para la obtención del esfuerzo cortante  $V_{mR}$

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

La carga vertical P que actúa sobre el muro deberá considerar las acciones permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor y sin multiplicar por el factor de carga. Si la carga vertical P es de tensión, se despreciará la contribución de la mampostería  $V_{mR}$ ; por lo que la totalidad de la fuerza cortante deberá ser resistida por el refuerzo horizontal.

La resistencia a compresión diagonal de la mampostería para diseño,  $v_m^*$ , no deberá exceder de 0.6 MPa (6 kg/cm<sup>2</sup>), a menos que se demuestre con ensayos que

satisfagan la sección 2.8.2.1, que se pueden alcanzar mayores valores. En adición se deberá demostrar que se cumplen con todos los requisitos de materiales, análisis, diseño y construcción aplicables.

#### **4.16 Fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo horizontal.**

##### **4.16.1 Tipos de acero de refuerzo.**

Se permitirá el uso de refuerzo horizontal colocado en las juntas de mortero para resistir fuerza cortante. El refuerzo consistirá de barras corrugadas o alambres corrugados laminados en frío, que sean continuos a lo largo del muro. No se permite el uso de escalerillas para resistir fuerza cortante inducida por sismo.

El esfuerzo de fluencia para diseño,  $f_{yh}$ , no deberá ser mayor que 6 000 kg/cm<sup>2</sup>. El refuerzo horizontal se detallará como se indica en las normas técnicas complementarias para estructuras de mampostería.

##### **4.16.2 Separación del acero de refuerzo horizontal.**

La separación máxima del refuerzo horizontal,  $s_h$ , no excederá de seis hiladas o 600 mm.

#### 4.16.3 Cuantías mínima y máxima del acero de refuerzo horizontal

Si se coloca acero de refuerzo horizontal para resistir fuerza cortante, la cuantía de acero de refuerzo horizontal,  $P_h$ , no será inferior a  $3/f_{yh}$ , en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  ni al valor que resulte de la expresión siguiente:

$$P_h = \frac{V_{mR}}{F_R f_{yh} A_T} \quad (6.11)$$

En ningún caso  $P_h$  será mayor que  $0.3 \frac{f_m^*}{f_{yh}}$ ; ni que  $1.2/f_{yh}$  para piezas macizas, ni que  $0.9/f_{yh}$  para piezas huecas si se usan MPa ( $12/f_{yh}$  y  $9/f_{yh}$ , respectivamente, si se usan  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

Ecuación para la obtención de  $P_h$ , carga horizontal.

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

#### 4.16.4 Diseño del refuerzo horizontal

La determinación de este refuerzo es muy importante pues es el que brinda seguridad cuando el sismo transmite fuerzas horizontales que son las más comunes en este tipo de fenómeno.

La fuerza cortante que toma el refuerzo horizontal,  $V_{sR}$ , se calculará con:

$$V_{sR} = F_R \eta p_h f_{yh} A_T \quad (6.12)$$

El factor de eficiencia del refuerzo horizontal,  $\eta$ , se determinará con el criterio siguiente:

$$\eta = \begin{cases} 0.6 ; & \text{si } p_h f_{yh} \leq 0.6 \text{ MPa (6 kg/cm}^2\text{)} \\ 0.2 ; & \text{si } p_h f_{yh} \geq 0.9 \text{ MPa (9 kg/cm}^2\text{)} \end{cases}$$

Ecuación 6.12 obtención de  $V_{sR}$

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

#### 4.17 Tipo de refuerzo para muros de mampostería no confinada ni reforzada.

##### 4.17.1 Fuerzas y momentos de diseño.

Las fuerzas y momentos de diseño se obtendrán a partir de los análisis indicados en las NTCEM, empleando las cargas de diseño que incluyan el factor de carga correspondiente.

La resistencia ante cargas verticales y laterales de un muro de mampostería no reforzada deberá revisarse para el efecto de carga axial, fuerza cortante, momentos flexionantes en su plano y, cuando proceda, también para momentos flexionantes normales a su plano principal de flexión. En la revisión ante cargas laterales sólo se considerará la participación de muros cuya longitud sea sensiblemente paralela a la dirección de análisis. La revisión ante cargas verticales se realizará conforme a lo establecido en la sección 3.2.2. de las Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

Cuando sean aplicables los requisitos del método simplificado de diseño sísmico (sección 3.2.3.3 de las NTCEM), la revisión ante cargas laterales podrá limitarse a los efectos de la fuerza cortante, siempre y cuando la estructura no exceda de tres niveles y la relación altura total a longitud del muro no exceda de dos. En caso contrario, se deberán valorar los efectos de la flexión en el plano del muro y de la fuerza cortante.

#### **4.17.2 Refuerzo por integridad estructural.**

Con objeto de mejorar la redundancia y capacidad de deformación de la estructura, en todo muro de carga se dispondrá de refuerzo por integridad con las cuantías y características indicadas en las secciones anteriores según corresponda.

El refuerzo por integridad estará alojado en secciones rectangulares de concreto reforzado de cuando menos 50 mm de lado. No se aceptarán detalles de uniones entre muros y entre muros y sistemas de piso / techo que dependan exclusivamente de cargas gravitacionales.

El refuerzo por integridad deberá calcularse de modo que resista las componentes horizontal y vertical de un puntal diagonal de compresión en la mampostería que tenga una magnitud asociada a la falla de la misma..

#### **4.17.3 Refuerzo vertical.**

Los muros serán reforzados en sus extremos, en intersección de muros y a cada 4 m con al menos dos barras o alambres de acero de refuerzo continuos en la altura de

la estructura. El área total del refuerzo vertical en el muro se calculará con la expresión siguiente (ver fig. 7.1) mostrada en la página siguiente.

$$A_s = \frac{2 V_{mR}}{3 F_R f_y}$$

Las barras deberán estar adecuadamente ancladas para alcanzar su esfuerzo especificado de fluencia,  $f_y$ .

Ecuación para el cálculo del acero de refuerzo  $A_s$  para mampostería no confinada.

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

#### 4.17.4 Refuerzo horizontal.

Se deberán suministrar al menos dos barras o alambres de acero de refuerzo continuos en la longitud de los muros colocados en la unión de éstos con los sistemas de piso y techo. El área total se calculará con la ec. 7.1, multiplicando el resultado por la altura libre del muro,  $H$ , y dividiéndolo por la separación entre el refuerzo vertical,  $S_v$ .

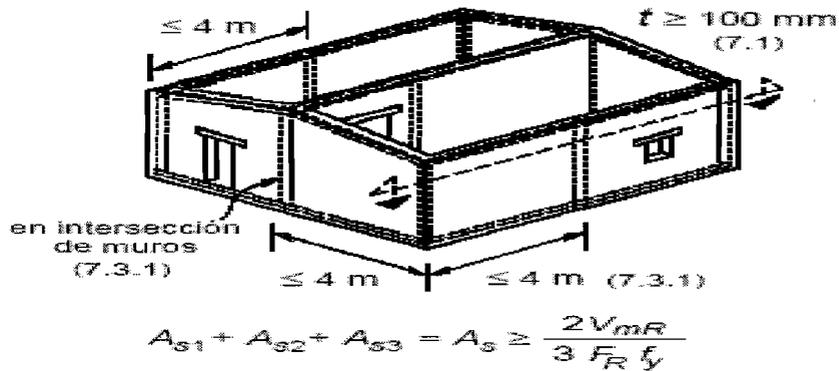


Figura 4.9 distribución y obtención de  $A_s$

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

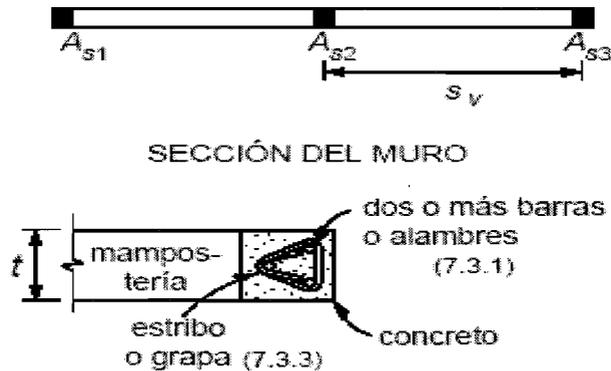


Figura 4.10 Selección del muro.

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

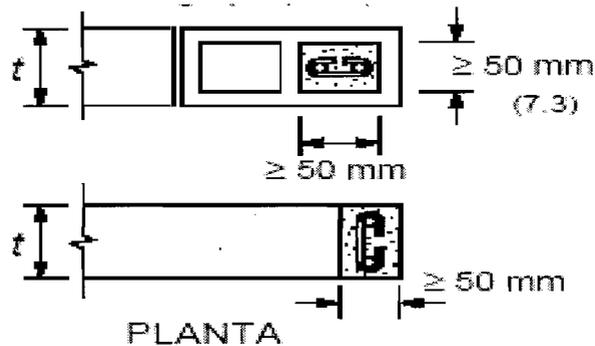


Figura 4.11 Refuerzo por integridad

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

#### 4.18 Refuerzo transversal.

Se deberá colocar refuerzo transversal en forma de estribos o grapas (fig.4.11) con una separación máxima de 200 mm y con un diámetro de al menos 3.4 mm.

#### 4.19 Resistencia a compresión y flexocompresión en el plano del muro.

##### 4.19.1 Resistencia a compresión.

Se presentan las siguientes ecuaciones obtenidas de las NTCEM para el cálculo de la resistencia a la compresión.

$$P_R = F_R F_E f_m^* A_T$$

donde

$F_E$  se obtendrá de acuerdo con la sección 3.2.2; y

$F_R$  se tomará igual a 0.3.

Ecuación para determinar  $P_R$  carga resistente.

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

#### 4.19.2 Resistencia a flexocompresión.

La resistencia a flexocompresión en el plano del muro se calculará, para muros sin refuerzo, según la teoría de resistencia de materiales, suponiendo una distribución lineal de esfuerzos en la mampostería. Se considerará que la mampostería no resiste tensiones y que la falla ocurre cuando aparece en la sección crítica un esfuerzo de compresión igual a  $f_m^*$ .  $F_R$  se tomará según la sección 3.1.4.2. citando las NTCEM.

#### 4.20 Resistencia a cargas laterales

Cuando se use el método simplificado de análisis (sección 3.2.3.3), la resistencia a fuerza cortante de los muros se afectará por el factor FAE.

La fuerza cortante resistente de diseño,  $V_{mR}$ , se determinará como sigue:

$$V_{mR} = F_R (0.5V_m^* A_T + 0.3P) \leq 1.5F_R V_m^* A_T \quad (7.4)$$

donde

$F_R$  se tomará igual a 0.4 (sección 3.1.4.3); y

$P$  se deberá tomar positiva en compresión.

Ecuación 7.4 Cálculo de  $V_{mR}$

Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería.

La carga vertical  $P$  que actúa sobre el muro deberá considerar las acciones permanentes, variables con intensidad instantánea, y accidentales que conduzcan al menor valor y sin multiplicar por el factor de carga. Si la carga vertical es de tensión, se tomará  $V_{MR} = 0$ .

#### **4.21 Método Simplificado de análisis**

Según sean las características de la estructura en estudio que se muestra en el anexo A, se puede analizar por sismo mediante el método simplificado, estático o dinámico. Para el caso que se analizará más adelante se optó por utilizar el método simplificado.

# **CAPÍTULO 5**

## **METODOLOGÍA.**

Este capítulo se trata acerca del enfoque de la presente investigación, que en este caso es de tipo cuantitativo, se analizara el alcance de la misma dando como resultado una investigación de alcance descriptivo, el diseño es no experimental, pues es en base a algo ya establecido, así mismo es una investigación transeccional, que destaca el momento del estudio en periodos presentes.

### **5.1 Enfoque de la investigación.**

El enfoque de la investigación que se cita es de tipo cuantitativo, según Hernández (2008), este tipo de enfoque utiliza la recopilación de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y así probar teorías.

Las principales características de este tipo de enfoque cuantitativo son:

- Plantea un problema de estudio delimitado y concreto.
- Revisa lo que se ha investigado anteriormente.
- Sobre la base de la revisión constituye un marco teórico.
- Deriva hipótesis sobre la teoría en estudio.
- Somete a prueba las hipótesis.
- Para la obtención de los resultados se recolectan datos numéricos y se estudia y se analiza mediante procedimientos estadísticos.

La investigación de enfoque cuantitativo debe ser lo más objetiva que sea posible, este tipo de estudios siguen un patrón predecible y estructurado. "Al final, con los estudios cuantitativos se pretende explicar y predecir los fenómenos investigados buscando regularidades y relaciones causales entre los elementos" (Hernández; 2008:6).

La investigación en el presente estudio es de tipo cuantitativa pues ofrece la posibilidad de generalizar los resultados que existen de tipos de refuerzo más ampliamente, otorga control sobre los fenómenos en estudio como las nuevas alternativas de refuerzo y un punto de vista de conteo de cómo es el comportamiento de la mampostería cuando se presenta un sismo. El método cuantitativo es el más utilizado en ciencias exactas o naturales como es el caso de la ingeniería civil.

El proceso cuantitativo es secuencial y probatorio, cada etapa es continua y se debe llevar un orden.

## **5.2 Alcance de la investigación.**

Del alcance de la investigación depende la estrategia, los procedimientos y otros componentes del proceso. En este caso la investigación tiene un alcance de tipo descriptivo.

El estudio descriptivo pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieran.

“La investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice” (Hernández; 2008:103).

Retomando a Hernández (2008), los estudios descriptivos ofrecen la posibilidad de hacer una predicción en base a lo ya establecido con la combinación de nuevos factores.

Se dedujo que este documento es de investigación tipo descriptiva porque gracias a la diversificación de resultados que ofrece el alternar los refuerzos en los muros de mampostería, se puede predecir si la estructura sufrirá o no daños cuando exista un movimiento telúrico.

### **5.3 Diseño de la investigación.**

La investigación no experimental cuantitativa no permite la manipulación de las variables, lo que si permite es observar fenómenos tal cual se dan naturalmente y posteriormente analizarlos.

En un estudio no experimental no se construye ninguna situación, sino q se observan las situaciones que ya existen y que no sean provocadas por quien realiza la investigación.

En la investigación de tipo no experimental las variables independientes simplemente ocurren, y no es posible alterarlas pues no existe un control directo sobre ellas por el hecho de que ya ocurrieron por igual sus efectos.

En el presente estudio no se lleva a cabo ningún experimento físico pues solo se estudia cómo será el comportamiento de las variables por medio del software sin alterarlas físicamente.

### **5.3.1 Investigación transeccional.**

Los diseños de investigación transeccional o transversal también llamada, son investigaciones que recopilan datos en un momento único, es decir en el aquí y en el ahora.

Su propósito es describir variables analizando su incidencia y la relación que hay entre ellos pero solo en un momento dado.

En este documento la información que se presenta al lector es de tipo transeccional pues los resultados y los distintos tipos de refuerzo son los que en la actualidad son más utilizados, pero lo más probable es que al pasar del tiempo surjan nuevos métodos de diseño y a su vez nuevas alternativas de refuerzo.

#### **5.4 Instrumentos de recopilación de datos.**

Durante el periodo de investigación se recurrió a diversas fuentes bibliográficas en las que destacan las Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería (NTCEM) de las cuales se retomaron datos como los tipos de refuerzo existentes y criterios de diseño para muros a base de mampuestos, por otra parte se adentró en las fuentes del Centro Nacional de Prevención Desastres (CENAPRED) de donde se extrajo parte de la información de las nuevas alternativas de refuerzo, ensayos y resultados de pruebas realizadas a muros sin refuerzo y con refuerzo sujetos a cargas sísmicas, así mismo desglosar que son los sismos, que los originan, tipos de sismo, zonas sísmicas etc.

Dentro del software más utilizados destacan Excel, Autocad y SAP2000. En el programa Excel se hicieron los cálculos correspondientes para determinar peso de las losas y peso de los muros, así como la elaboración de las gráficas determinadas por los datos numéricos que son producto del SAP2000 donde se modela la estructura y se analiza ante cargas sísmicas a las cuales es sometida y por ultimo en el programa de dibujo técnico Autocad se hicieron algunas figuras para que la explicación de los temas fuera más visual y explícita.

#### **5.5 Descripción del proceso de investigación.**

El proceso de recopilación de datos de esta investigación se realizó de la siguiente manera, primero se recapituló toda la información existente sobre que es la mampostería, cuáles elementos son considerados como mampuestos, cuál es su resistencia promedio, sus propiedades físicas e internas, comportamiento de la

mampostería, etc. También se investigó qué origina los sismos. Que son, dónde se presentan con mayor frecuencia y tipos de sismo entre otros.

Posteriormente se investigó cuál era la normativa que rige las estructuras de mampostería, lo que llevo a seleccionar como bibliografía importante las Normas Técnicas Complementarias de Estructuras de Mampostería, donde se determina cuales son los refuerzos existentes, los criterios de diseño y el orden que debe de llevar la elaboración de muros a base de mampuestos, también se investigó cuáles alternativas de refuerzo son mejores cuando los muros de mampostería son afectados por cargas sísmicas.

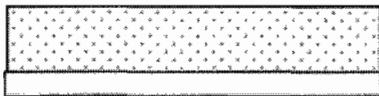
Por último se llevaron a cabo los cálculos, en donde gracias a los software como Excel, Autocad y SAP2000, se modeló y analizó gráfica y numéricamente los muros a ensayar, dando como resultado el comportamiento real de un muro con refuerzo y sin refuerzo, y se observó que efectivamente es primordial saber qué tipo de refuerzo es el más adecuado según la edificación y la zona donde se llevará a cabo el desplante del muro de mampostería.

## CAPÍTULO 6

# EJEMPLO DEL CÁLCULO DEL REFUERZO EN MUROS DE MAMPOSTERÍA.

### 6.1 ANALISIS DE CARGAS

#### LOSA AZOTEA



MATERIAL	ESPESOR (m)	P. VOL. (ton/m <sup>3</sup> )	P. TOT (ton-m <sup>2</sup> )
Enladrillado	0.01	1.5	0.015
Mortero	0.03	2.1	0.063
Relleno			
Losa	0.10	2.4	0.24
Yeso	0.02	1.5	0.03
	0.16	<b>CM =</b>	<b>0.348</b>

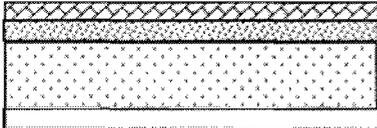
#### CARGAS DE SERVICIO PERMANENTES

CM	0.348	
CV	0.1	
Cad	0.04	
<b>W</b>	<b>0.488</b>	<b>t/m<sup>2</sup></b>

#### PERMANENES MAS ACCIDENTALES

CM	0.348	
CV	0.07	
Cad	0.04	
<b>W</b>	<b>0.458</b>	<b>t/m<sup>2</sup></b>

## LOSA ENTREPISO



MATERIAL	ESPESOR (m)	P. VOL. (ton/m <sup>3</sup> )	P. TOT (ton-m <sup>2</sup> )
Piso	0.02	1.5	0.03
Mortero	0.03	2.1	0.063
Losa	0.10	2.4	0.24
Yeso	0.02	1.5	0.03
<b>CM =</b>			<b>0.363</b>

### CARGAS DE SERVICIO

#### PERMANENTES

CM	0.363	
CV	0.17	
Cad	0.04	
<hr/>		
<b>W</b>	<b>0.573</b>	<b>t/m<sup>2</sup></b>

#### PERMANENES MAS ACCIDENTALES

CM	0.363	
CV	0.09	
Cad	0.04	
<hr/>		
<b>W</b>	<b>0.493</b>	<b>t/m<sup>2</sup></b>

peso losa entrepiso = 0.493 t/m<sup>2</sup>  
 83.09 m<sup>2</sup>  
 40.96337 ton.

peso total de las losas= 80.4694882 ton
---

REVISION DE MUROS

COEFICIENTE SISMICO

Cs= 0.32

peso por ml=	624	0.624	ton.	
ml totales	9786	97.86	ml	
peso total muros	61064.64	61.06464	ton	
peso total de la losa	80469.4882	80.4694882	ton	
peso total de la estructura	141534.128	141.534128	ton	
Peso total de la estructura		Wtot=		141534.1282 Kg
Cortante sismico = Wtot x Cs		Vs=		45290.92102 Kg
Fza cortante ultima de diseño=Fc x Vs		Vu=		63407.28943 Kg

REVISIÓN DE MUROS DE PLANTA BAJA

Altura de entrepiso h= 240 cm

SENTIDO X				AREA EQUIVALENTE (cm <sup>2</sup> )
MURO	LONGITUD (cm)	ESPELOR (cm)	FAE	
B 1-1'	100	12	0.31	368.52
B 1''-2	207	12	1.00	2484.00
C 2-2'	220	12	1.00	2640.00
C' 2-3	400	12	1.00	4800.00
C'' 2-3	190	12	1.00	2280.00
D 1-2	290	12	1.00	3480.00
D 2''-3	285	12	1.00	3420.00
E 1-1'	150	12	0.69	1243.76
E1''- 2	100	12	0.31	368.52
Lx=	1942			21084.80

FR= 0.7  
 v\*m= 3 kg/cm<sup>2</sup>  
 Lt= 4550 ml  
 Px= 60408.6323 kg  
 VmRx= 34824.85224 kg  
 NO PASA  
 Vu = 63407.2894 kg

POR LO TANTO SE DEBE REFORZAR

SENTIDO Y				
MURO	LONGITUD (cm)	ESPEJOR (cm)	FAE	AREA EQUIVALENTE (cm <sup>2</sup> )
1 B-E	1300	12	1	15600
2 D-E	408	12	1	4896
3 B-C	100	12	0.30710069	368.52
3 C-D	800	12	1	9600
Ly=	2608			30464.52

FR= 0.7  
 v\*m= 3 kg/cm<sup>2</sup>  
 Lt= 4550 ml  
 Px= 81125.4959 kg  
 VmRx= 49024.101 kg  
 NO PASA  
 Vu = 63407.2894 kg

POR LO TANTO SE DEBE REFORZAR



SENTIDO Y				
MURO	LONGITUD (cm)	ESPEJOR (cm)	FAE	AREA EQUIVALENTE (cm <sup>2</sup> )
1 B-E	1300	21	1	27300
2 D-E	408	21	1	8568
3 B-C	100	21	0.30710069	644.91
3 C-D	800	21	1	16800
Ly=	2608			53312.91

FR= 0.7  
v\*m= 3 kg/cm<sup>2</sup>  
Lt= 4550 ml  
Px= 81125.4959 kg  
VmRx= 73014.9112 kg  
Vu = 63407.2894 kg

PASA

## ALTERNATIVA 2

### REFUERZO EXTERIOR.

En esta alternativa se refuerzan los muros utilizando refuerzo exterior con malla electrosoldada.

#### REVISIÓN DE MUROS DE PLANTA BAJA

Altura de entrepiso h=                      240 cm

SENTIDO X				AREA EQUIVALENTE (cm <sup>2</sup> )
MURO	LONGITUD (cm)	ESPESOR (cm)	FAE	
B 1-1'	100	12	0.31	368.52
B 1''-2	207	12	1.00	2484.00
C 2-2'	220	12	1.00	2640.00
C' 2-3	400	12	1.00	4800.00
C'' 2-3	190	12	1.00	2280.00
D 1-2	290	12	1.00	3480.00
D 2''-3	285	12	1.00	3420.00
E 1-1'	150	12	0.69	1243.76
E1''- 2	100	12	0.31	368.52
Lx=	1942			21084.80

FR=		0.7	
v*m=		3	kg/cm <sup>2</sup>
Lt=		4550	ml
Px		60408.6323	kg
S/REFUERZO	VmRx=	34824.85224	kg
Total:	VmRx=	7276835.186	

PASA

SENTIDO Y				
MURO	LONGITUD (cm)	ESPESOR (cm)	FAE	AREA EQUIVALENTE (cm <sup>2</sup> )
1 B-E	1300	12	1	15600
2 D-E	408	12	1	4896
3 B-C	100	12	0.30710069	368.52
3 C-D	800	12	1	9600
Ly=	2608			30464.52

Vu = 63407.28943 kg

FR= 0.7

v\*m= 3 kg/cm<sup>2</sup>

Lt= 4550 ml

Px= 81125.4959 kg

S/REFUERZO VmRx= 49024.101 kg

Total: VmRx= 9772392.46

PASA

Vu = 63407.2894 kg

### ALTERNATIVA 3.

### REFUERZO INTERIOR.

Para este tipo de alternativa de refuerzo se emplea el tabique hueco o multi perforado y en conjunto con el empleo de acero de refuerzo.

#### REVISIÓN DE MUROS DE PLANTA BAJA

Altura de entrepiso h= 240 Cm

SENTIDO X				
MURO	LONGITUD (cm)	ESPESOR (cm)	FAE	AREA EQUIVALENTE (cm <sup>2</sup> )
B 1-1'	100	12	0.31	368.52
B 1''-2	207	12	1.00	2484.00
C 2-2'	220	12	1.00	2640.00
C' 2-3	400	12	1.00	4800.00
C'' 2-3	190	12	1.00	2280.00
D 1-2	290	12	1.00	3480.00
D 2''-3	285	12	1.00	3420.00
E 1-1'	150	12	0.69	1243.76
E1''- 2	100	12	0.31	368.52
Lx=	1942			21084.80

FR= 0.7  
v\*m= 7 kg/cm<sup>2</sup>  
Lt= 4550 ml  
Px 60408.6323 kg  
VmRx= 64343.57151 kg  
PASA  
Vu = 63407.28943 kg

SENTIDO Y				
MURO	LONGITUD (cm)	ESPEJOR (cm)	FAE	AREA EQUIVALENTE (cm <sup>2</sup> )
1 B-E	1300	12	1	15600
2 D-E	408	12	1	4896
3 B-C	100	12	0.30710069	368.52
3 C-D	800	12	1	9600
Ly=	2608			30464.52

FR= 0.7  
 v\*m= 7 kg/cm<sup>2</sup>  
 Lt= 4550 ml  
 Px= 81125.4959 kg  
 VmRx= 91674.4302 kg  
 PASA  
 Vu = 63407.2894 kg

## CONCLUSIONES

Al inicio de esta investigación se pretendía determinar las alternativas de refuerzo necesarias en la construcción de estructuras de mampostería que permita conservar la vida útil de la obra el mayor tiempo posible y que fuera lo suficiente resistente cuando se presentara un sismo.

Dado que los materiales empleados en la mampostería tienen un gran uso en las estructuras debido a sus cualidades térmicas, acústicas, permeables y que además lo hacen un elemento estructural es necesario un correcto análisis del tipo de refuerzo que le proporcionará a la estructura el mejor soporte ante los movimientos telúricos que se pudiesen presentar, esto con el fin de implementar la seguridad de la estructura frente a los daños a que estaría expuesta la estructura de mampostería particularmente en estudio.

El resultado fue satisfactorio pues se logró hacer una comparativa práctica del comportamiento de la estructura sin refuerzo y con cada una de las alternativas de refuerzo como lo es el acomodo de las piezas de los mampuestos, o el refuerzo interior donde se emplea el tabique hueco con acero y/o por otra parte la alternativa de refuerzo externo con malla electrosoldada.

La pregunta de investigación que se determinó inicialmente en el presente documento era dar a conocer qué tipo de refuerzo es él que determina la seguridad de la estructura ante un sismo y a su vez también dentro de esta investigación se redactó de manera muy explícita el detallado que se requiere para la construcción de muros de mampostería, la cuantía del mismo, pues de nada serviría elegir un buen refuerzo si el detallado en la construcción del muro a base de mampuesto no es bien dirigido.

Todo esto es necesario para estar del lado de la seguridad en el momento en que este tipo de estructuras sean sujetas a cargas sísmicas. Prevenir es mejor que lamentar y más cuando se refiere a prevención de catástrofes ocasionadas por fenómenos naturales en este caso por el sismo.

En el capítulo de cálculo se pudo determinar el comportamiento de los muros de mampostería con las diferentes alternativas, en la primera alternativa se reforzaron los muros aumentando el espesor de los muros acomodando el mampuesto horizontal y de canto pero una desventaja de esta alternativa es que no es estético y además el resultado es costoso, en la segunda alternativa que es la malla electrosoldada es una de las más utilizadas, garantiza un buen funcionamiento como acero de refuerzo y además no es caro, y en la tercera alternativa que es el empleo del tabique hueco con acero de refuerzo interno igual cumple satisfactoriamente ante el sismo y es estético pero nos es económico.

Algo muy interesante que se conoció cuando se realizaba la investigación correspondiente para la buena realización del presente documento, fue que, existe una nueva alternativa de refuerzo ecológico para los cimientos a base de mampuestos, que consiste colocar un anillo de llantas de carros desechadas alrededor del área de cimentación de las estructura , estas amortiguan el movimiento telúrico que se pudiera presentar, actúan como disipadoras y a su vez se realiza un relleno sanitario al depositar los neumáticos ya sin vida útil debajo de la tierra.

## BIBLIOGRAFIA.

Edificaciones de Mampostería para Viviendas.  
Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.  
Marzo 1999, México, D.F.

Enciclopedia Virtual Encarta 2000  
Enciclopedia Encarta MR. 2000

Mampostería y Construcción  
Esteban Villasante Sánchez  
Febrero 1995, México, D.F.  
Ed. Trillas

Manual de Diseño Sísmico de Edificios  
Enrique Bazán y Roberto Meli  
Mayo 2000, México D.F.  
Ed. Limusa

Normas Técnicas Complementarias para Estructuras de Mampostería  
Normas Técnicas Complementarias para Construcción del D.F.  
UNAM, 2000

Red de Observación Sísmica del CENAPRED  
Centro Nacional de Prevención de Desastres  
CENAPRED Junio 1993, México D.F.

Riesgo, Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de Edificios de  
Mampostería.

J. Antonio Núñez.

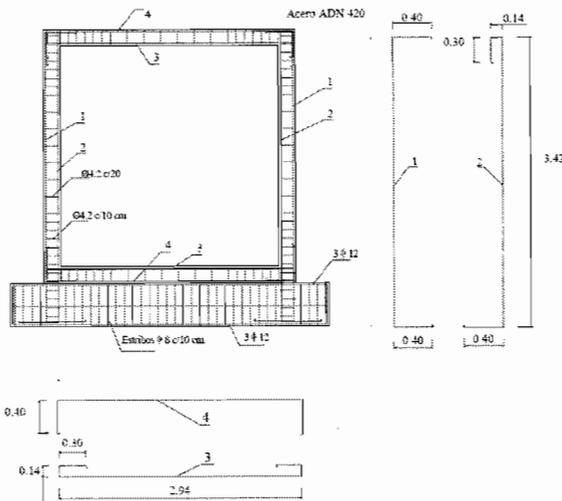
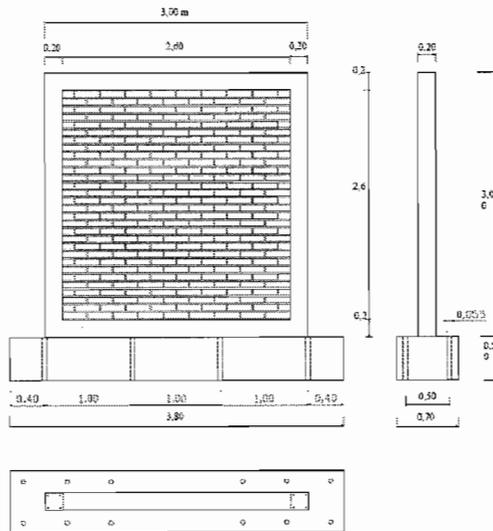
Agosto, 1999

Ed. Mc Graw Hill

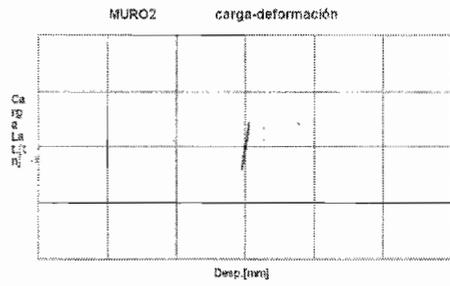
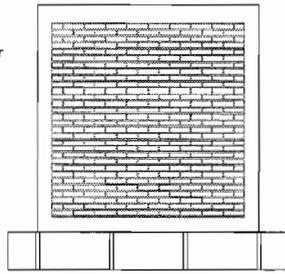
Sismología en México  
Servicio Sismológico Nacional  
UNAM, 2007

# ANEXOS

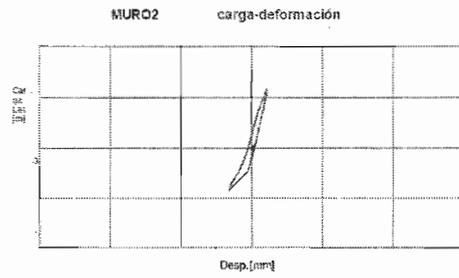
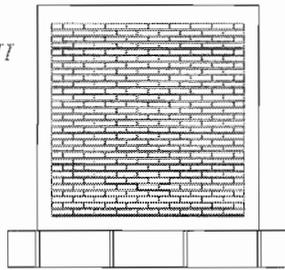
# Comportamiento sísmico de muros de mampostería de tabique macizo de barro rojo recocido.



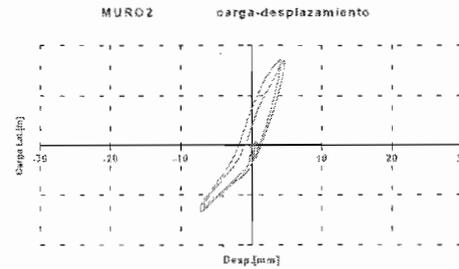
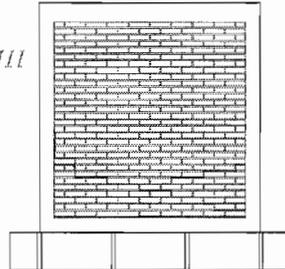
ETAPA I



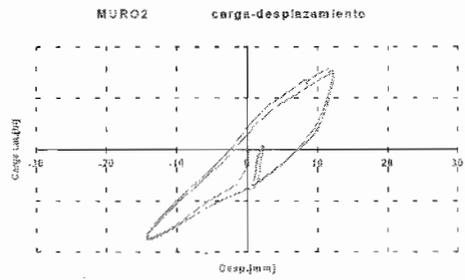
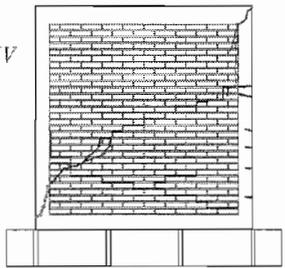
ETAPA II



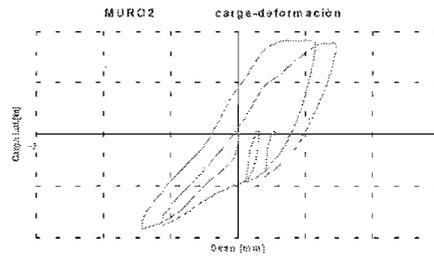
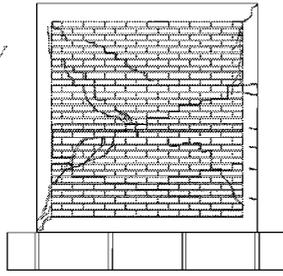
ETAPA III



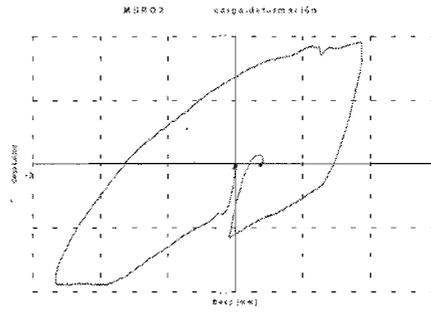
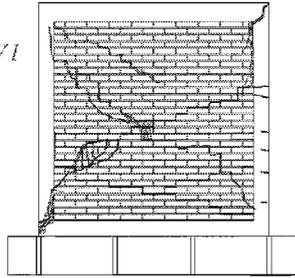
ETAPA IV

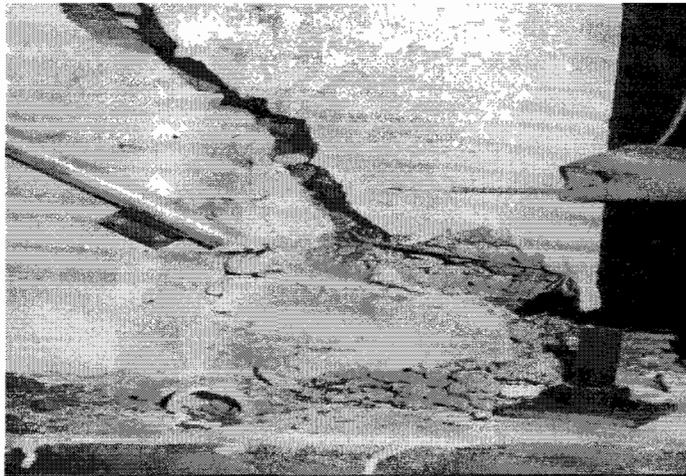
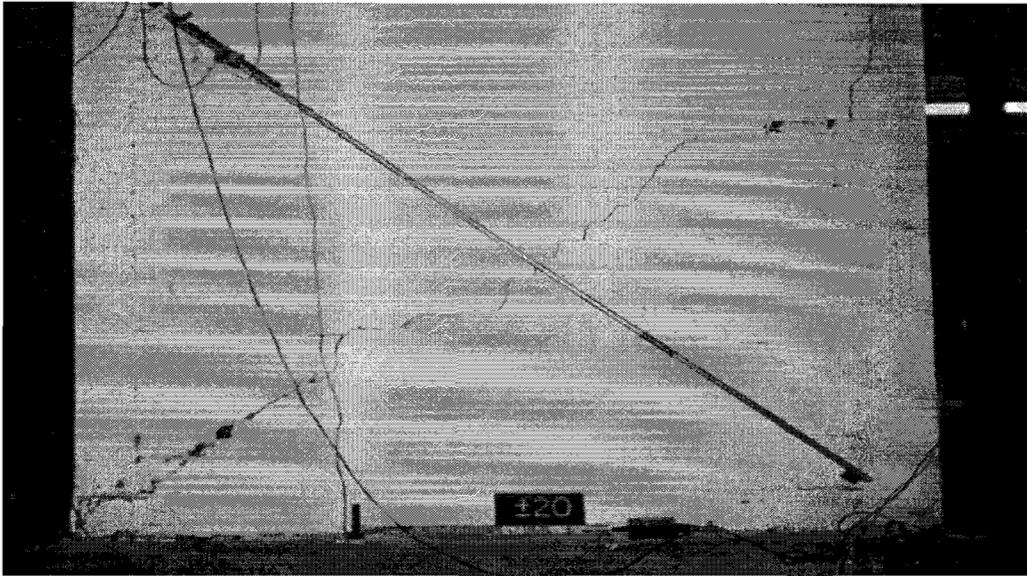


ETAPA V

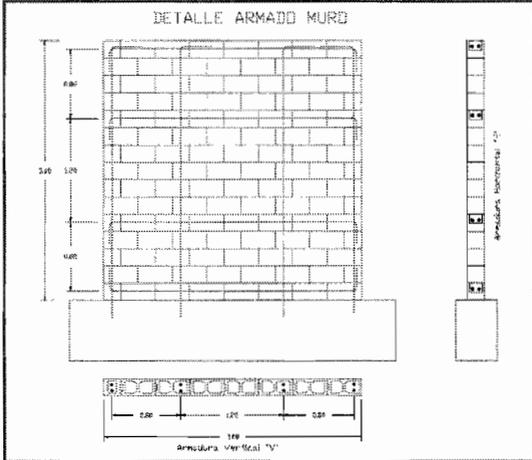
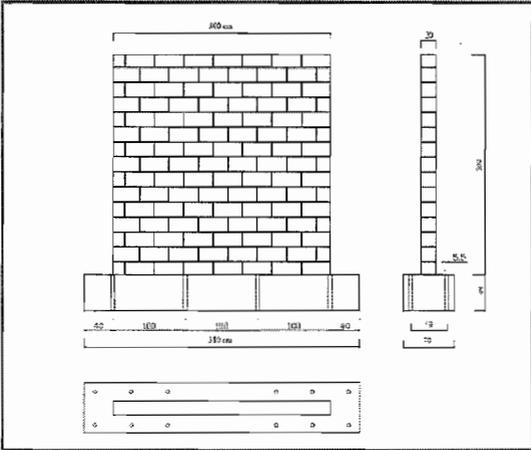


ETAPA VI

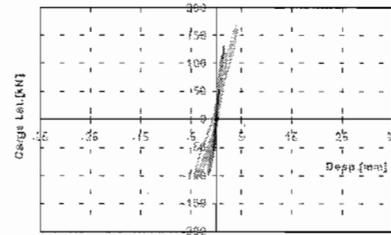
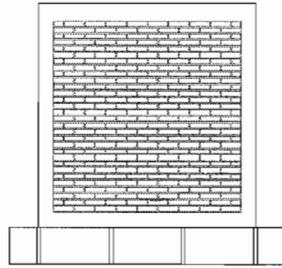




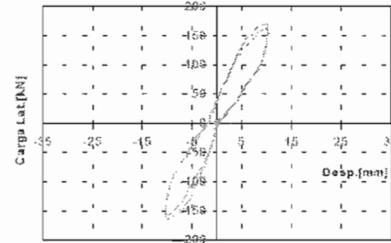
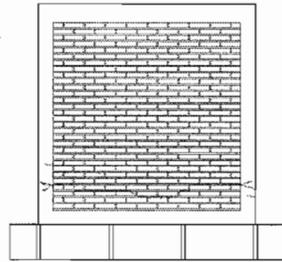
Comportamiento sísmico de muros de mampostería de tabique hueco con refuerzo interior:



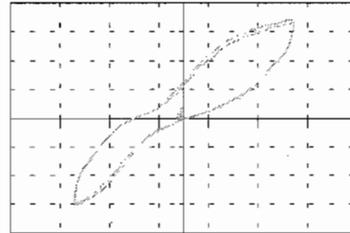
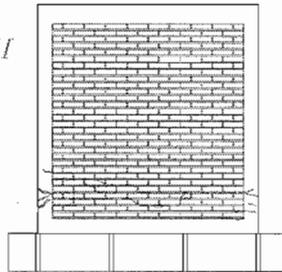
ETAPA I



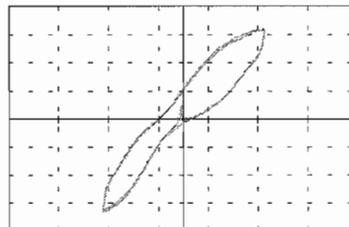
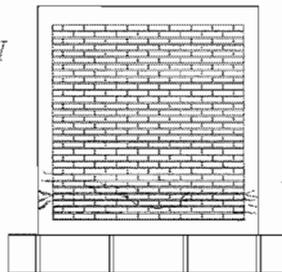
ETAPA II



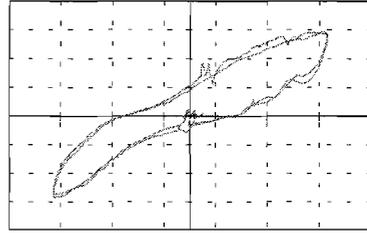
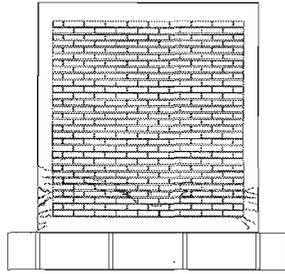
ETAPA III



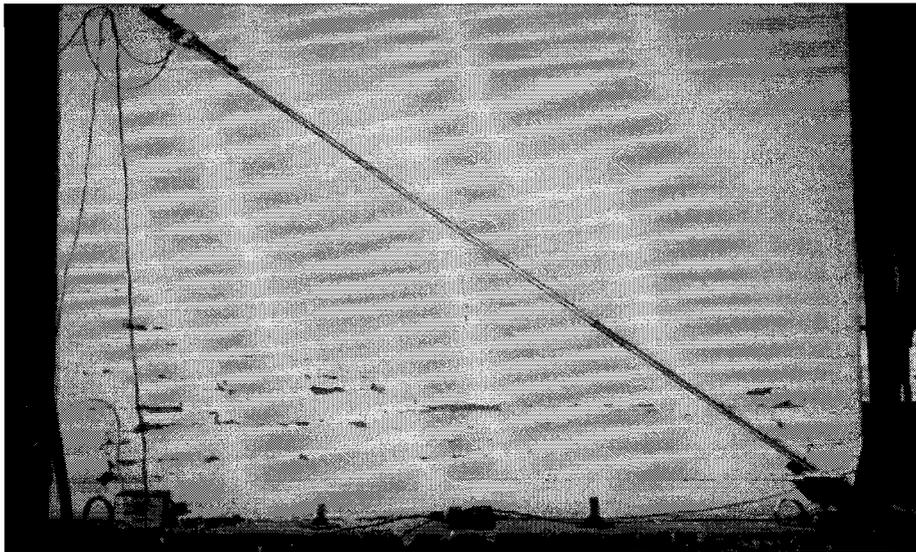
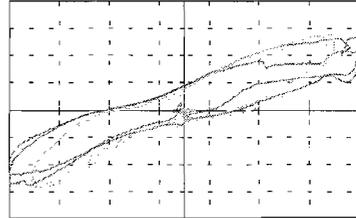
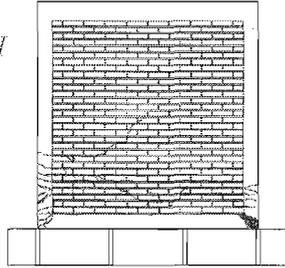
ETAPA VI



ETAPA V



ETAPA VI



## Comportamiento sísmico de muros de mampostería con aberturas

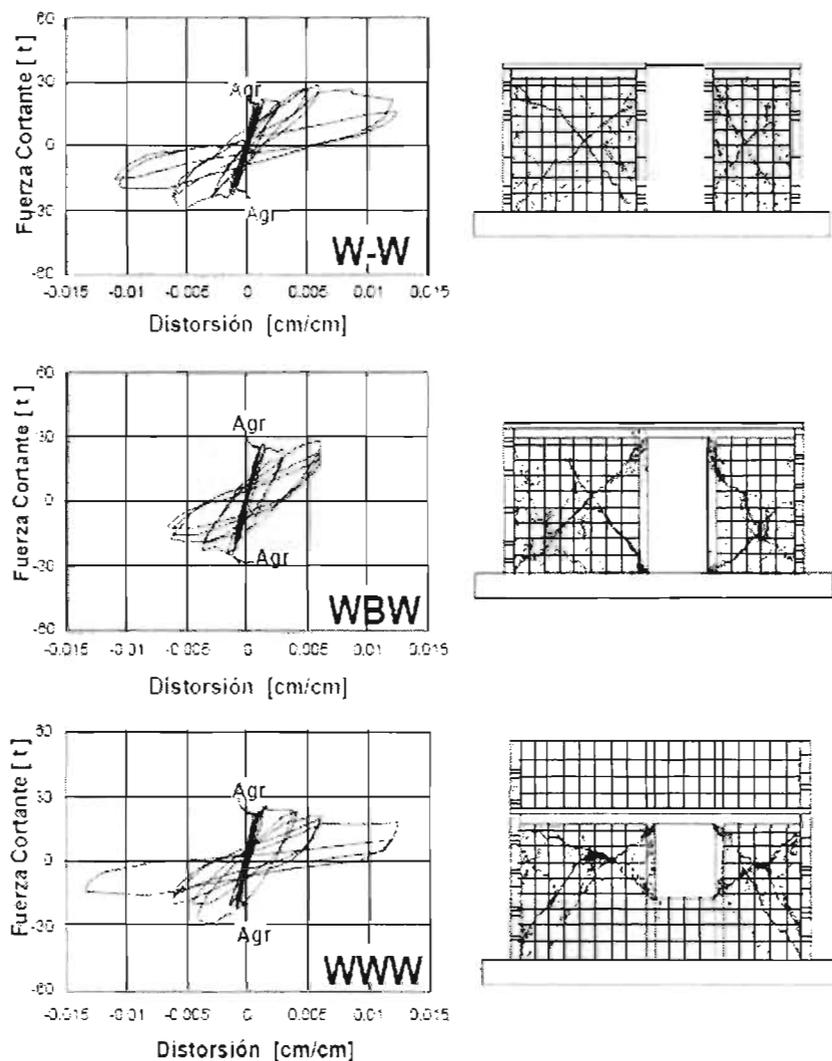
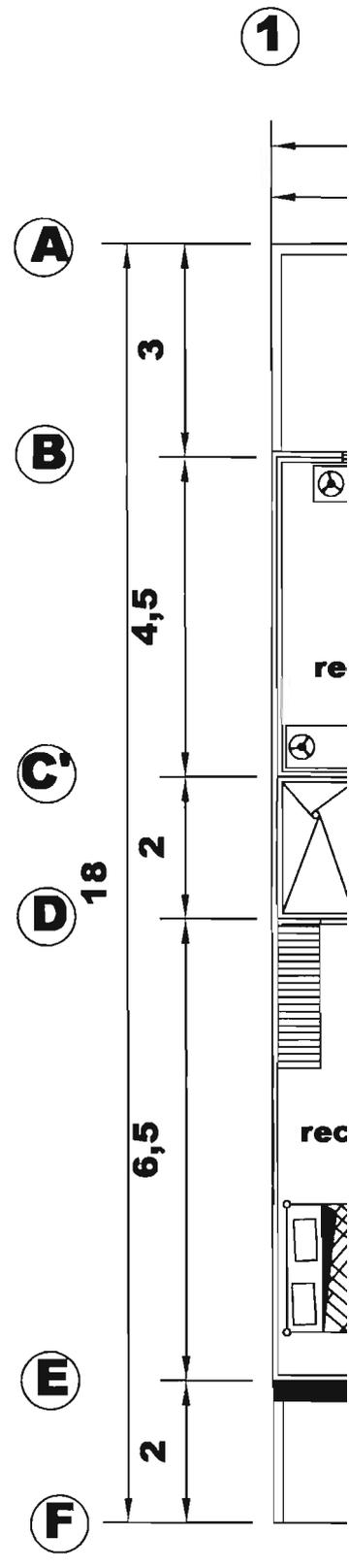
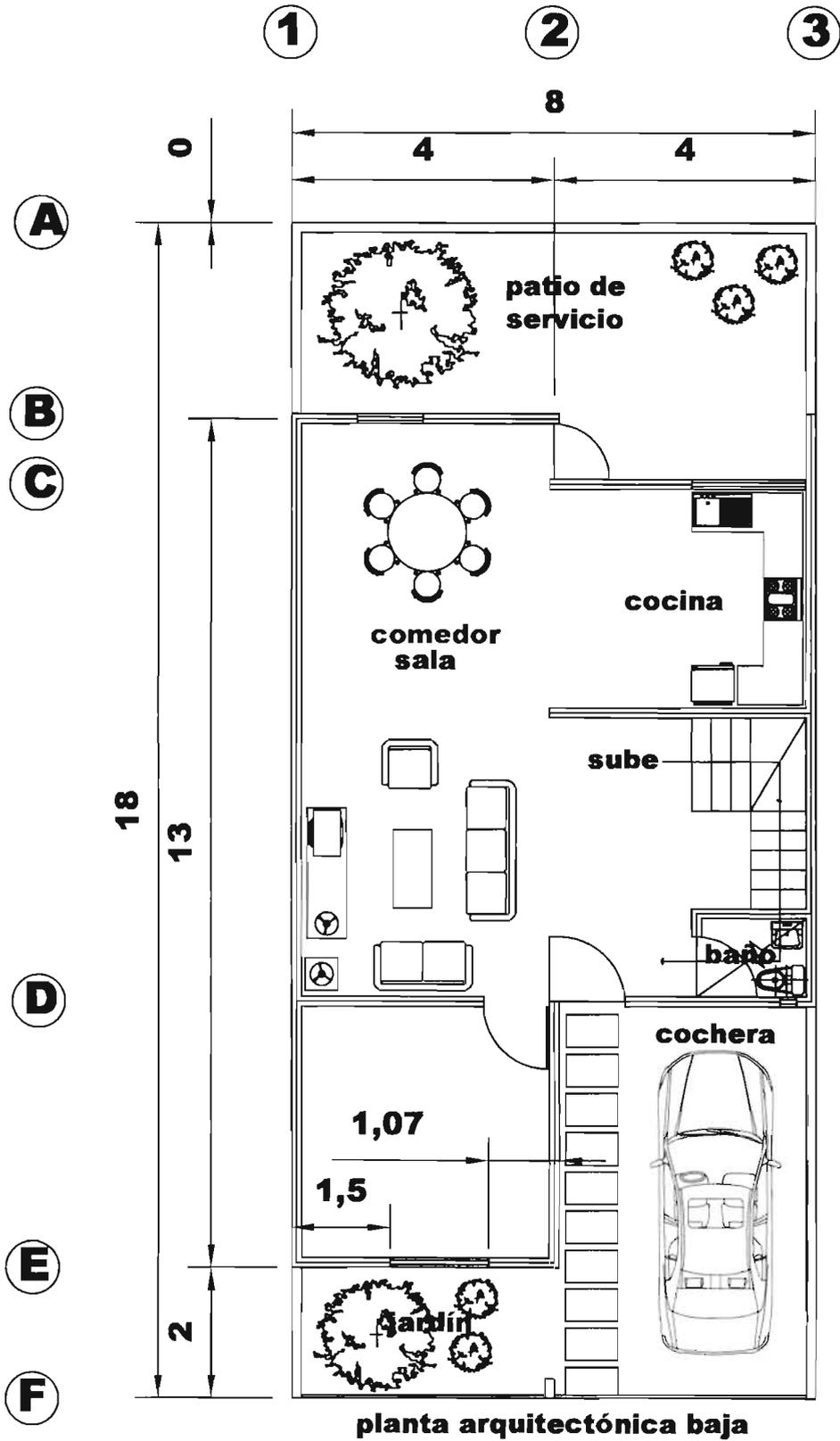


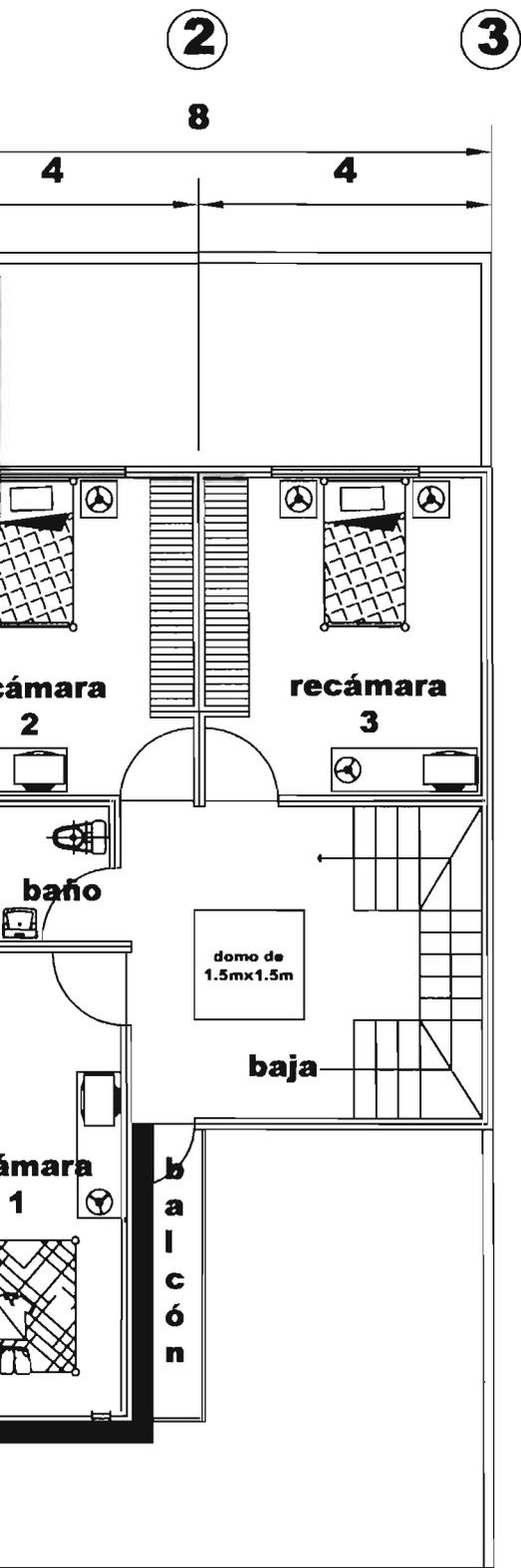
Figura 1.8 Resultados de la fase uno: Curvas de histéresis y patrones de agrietamiento final

FUENTE:

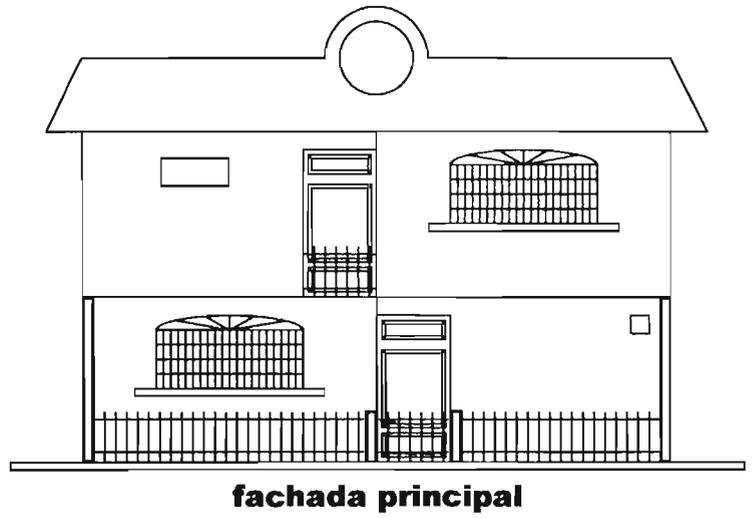
Ensayos de comportamiento sísmico de muros de mampostería

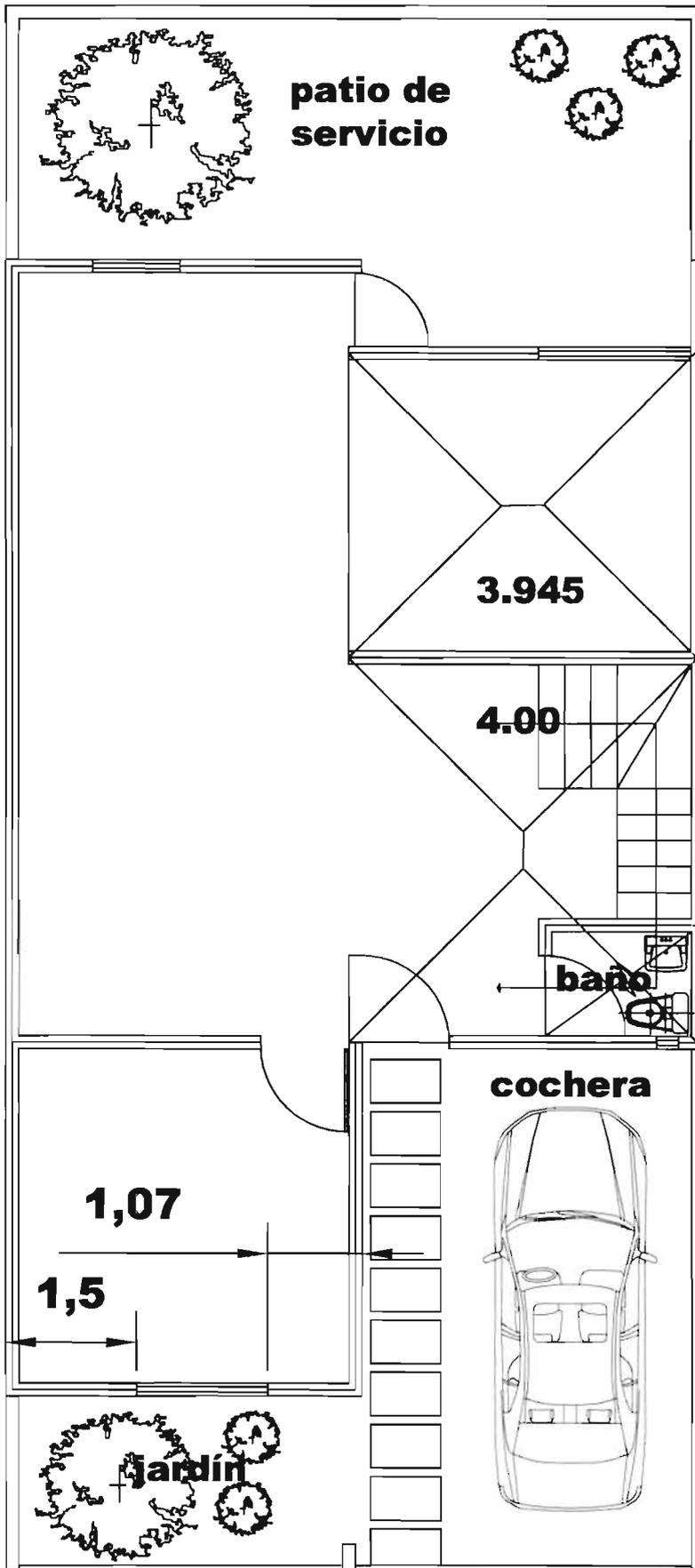
Francisco Zabala, José Luis Bustos, Alberto R. Masanet y Jorge R. Santalucía





**planta arquitectónica alta**





**planta arquitectónica baja**

**A**

**B**

**C**

**D**

**18**

**E**

**F**

**3**

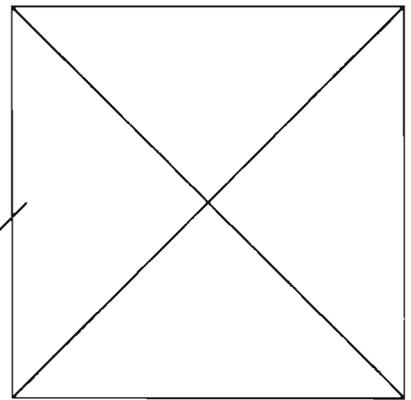
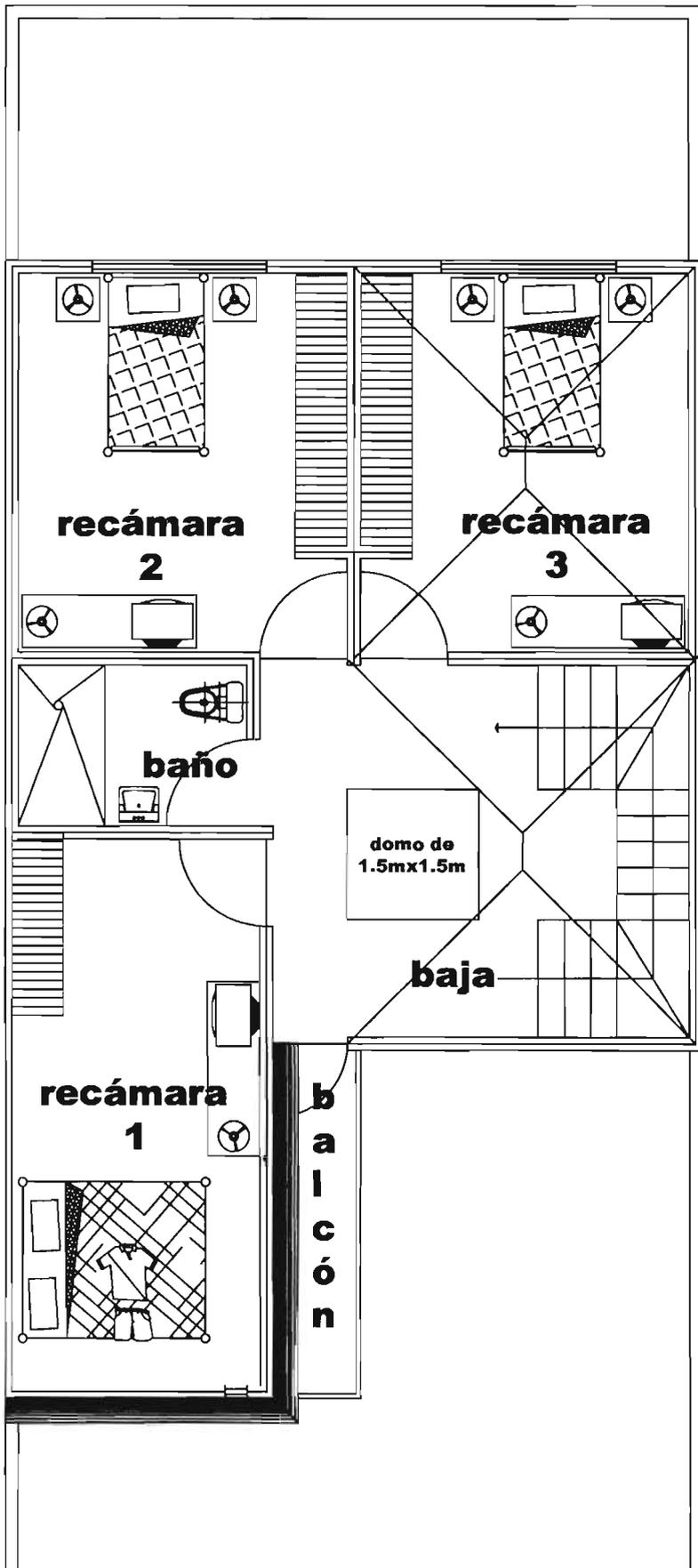
**4,5**

**2**

**6,5**

**2**

**3,53**



**planta arquitectónica alta**