



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

**Estudio del Tipo de Grietas en Muros de
Mampostería, Posibles Causas y Efectos.**

TESIS

Que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

Presenta

GERARDO VALENTÍN SOTO RAMÍREZ

Dirigido por

MI. Rubén Ramírez Jiménez

Querétaro, Qro., Octubre de 2008

H74153

TS

693.1

5718e

University of Toronto
Library
128 St. George Street
Toronto, Ontario M5S 1A5



Department of Chemistry
University of Toronto

1981

Department of Chemistry

University of Toronto

1981

Department of Chemistry

University of Toronto

Department of Chemistry

Department of Chemistry



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

“Estudio del Tipo de Grietas en Muros de Mampostería, Posibles Causas y Efectos”

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener la licenciatura de Ingeniería Civil

Presenta:

Gerardo Valentín Soto Ramírez

Dirigido por:

MI. Rubén Ramírez Jiménez

SINODALES

MI. Rubén Ramírez Jiménez

M. en C. José Luís Reyes Araiza

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza

M. en C. Felipe Ortiz Arredondo

Dr. Gilberto Herrera Ruiz

MC. Darío Hurtado Maldonado

Director de la Facultad
de Ingeniería

Secretario Académico de la Facultad
de Ingeniería

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Octubre de 2008
México.

RESUMEN

Desde la antigüedad el hombre ha encontrado en la mampostería, un material con una gran diversidad de aplicaciones dentro de las obras civiles. El uso de este material viene desde las primeras civilizaciones del medio oriente (Ruinas de Jericó, las pirámides de Egipto, la gran muralla China) y posteriormente también es utilizada por las civilizaciones americanas (las pirámides de Yucatán en México y las pirámides de Machu Pichu en Perú).

La mampostería presenta un gran número de aplicaciones, no solo se utiliza para estructuras, también para dividir espacios, protección contra fuego, aislamiento térmico y acústico y, apariencia estética. Por lo tanto, puede decirse que la mampostería es apreciada por su color, forma, textura, disponibilidad, durabilidad, por su capacidad de aislamiento térmico y por su bajo costo, en comparación con otros materiales.

En la época moderna un gran número de viviendas y edificaciones aun son elaboradas en base al sistema de la mampostería, sin embargo presentan uno de los problemas más graves; las grietas. Una grieta es una abertura incontrolada que afecta a todo el espesor del muro. Las grietas se pueden clasificar en verticales, inclinadas, horizontales y escalonadas. Las grietas se originan por factores como es la deficiencia de ejecución en los materiales, las acciones mecánicas externas (como lo son cargas y asentamientos diferenciales del terreno), las acciones higrotérmicas (como empuje entre muros adyacentes, grietas por contracción térmica y otras provocadas por movimientos horizontales), y por las deficiencias del proyecto.

El tema de las grietas en muros de mampostería en la ciudad de Querétaro es muy interesante, sin embargo se carece de información. Por lo tanto; en este trabajo se recabo información de dos puntos que decidí estudiar: la Colonia el Rocío y la Colonia Arboledas. La información me sirvió para determinar patrones de las grietas y así encontrar una posible causa de la grieta.

Durante este trabajo explico los diferentes métodos de solución de grietas entre los cuales encontramos: restauración por sustitución de materiales, restauración por aplicación de materiales diferentes al dañado, enchapado y refuerzo con doble malla de acero, el engrapado y la reestructuración. Es necesario conocer estos métodos ya que en México no se tiene una cultura de conservación y mantenimiento de las edificaciones que actualmente están en funcionamiento.

SUMMARY

Since ancient times man has found in the masonry, a material with a wide range of applications within the civil works. The use of this material comes from the earliest civilizations of the Middle East (Jericho Ruins, the pyramids of Egypt, the Great Wall of China) and then is also used by American civilizations (the pyramids of Yucatan in Mexico and the pyramids of Machu Pichu in Peru).

The masonry presents a large number of applications; it's not only used for structures, it also divides spaces, fire protection, thermal insulation and acoustic and aesthetic appearance. Therefore, one can say that the masonry is appreciated by its color, shape, texture, availability, durability, for its thermal insulation capacity and its low cost compared with other materials.

In modern times a large number of houses and buildings are even prepared on the basis of the system of masonry; however it presents one of the most serious problems in constructions; cracks. A crack is uncontrolled opening that affect the entire thickness of the wall.

The cracks can be classified into vertical, inclined, horizontal and staggered. The cracks are caused by different factors such as poor performance in materials, mechanical external actions (such as charges differential settlements and of the differential terrain settlements), hicrothermycall actions (such as push between adjacent walls, cracks in contraction caused by thermal and other horizontal movements), and by the shortcomings of the project.

The theme of the cracks in masonry walls in Querétaro city is very interesting, but there is a lack of information. Therefore, this paper sought information from two points cases that I decided to study: the Neighborhood on Rocío and Neighborhood Arboledas. The information helped me to determine patterns of cracks and thus to find a possible cause of the crack.

During this work I explain the different methods of settling cracks among which are: restoration by substituting materials, catering for the implementation of different materials damaged, plating and reinforced with double steel mesh, crimped and restructuring. It is necessary to know these methods because Mexico does not have a maintenance culture and upkeep of buildings currently in operation.

DEDICATORIA

A mis padres por el apoyo y ejemplo que en cada segundo de mi vida me han brindado. Por sus cuidados, amor y comprensión; por sus sabios consejos que me orientaron por el camino recto de la vida.

A los trabajadores de la industria de la construcción, quienes con el rostro partido por el sol, dan forma a los espacios; para transformar a México en un país desarrollado.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a todos los Maestros que nos dieron clases durante la Licenciatura, ya que contribuyeron con su experiencia para tener una excelente formación académica.

Gracias, al M. en C. Rubén Ramírez Jiménez por su paciencia, apoyo y amistad. También por sus consejos ya que sin éstos no hubiese sido posible la realización de esta tesis.

Gracias M. en I. Pablo Talamantes Contreras quien me impulso a realizar mi proyecto. Además, de transmitir sus experiencias, las cuales te hacen madurar profesionalmente.

Gracias al M. en C. Darío Hurtado Maldonado por su lealtad, entrega y entusiasmo por su trabajo.

Gracias a todos mis compañeros, por su humildad, su honestidad y sobre todo por la amistad mutua que demostraron.

Gracias a mi Mamá y Papá, por su amor y cariño, por los valores que me inculcaron y por su incondicional apoyo durante estos cuatro años.

Gracias a mis dos hermanos: Hugo y Alicia por su comprensión, amor, cariño, respeto y sobre todo por todos los años que he convivido con ustedes.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	I
SUMMARY	II
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS	VI
INDICE DE CONTENIDO.....	VII
INDICE DE TABLAS	IX
INDICE DE FIGURAS	X

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA.....	4
2.1	Historia de la mampostería	4
2.2	Definición de Mampostería.....	7
2.3	Propiedades Mecánicas de la Mampostería	8
2.4	Tipos de Materiales para Unidades de Mampostería	10
2.5	Ladrillos	12
2.5.1	Tipos de Ladrillo	13
2.5.2	Fabricación de los ladrillos de arcilla.....	16
2.6	Bloques de Concreto.....	17
2.7	Otras unidades	17
2.8	Mortero	18
2.8.1	Componentes del mortero.....	20
2.8.2	Propiedades del mortero	21
3	EVOLUCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MURO DE MAMPOSTERIA.....	23
3.1	Funciones de los muros	25
3.2	Resistencia de los muros.....	25
3.3	Tipos de muros.....	26
3.3.1	Muros diafragma	26
3.3.2	Muros confinados.....	28
3.3.3	Muros reforzados interiormente.....	31
3.3.4	Muros no reforzados.....	33
4	GRIETAS EN MUROS DE MAMPOSTERIA	34
4.1	Comportamiento mecánico de la mampostería en Compresión.....	34
4.2	Comportamiento mecánico de la mampostería a Cortante.....	38
4.3	Modos de fallo.....	39
4.3.1	Tipos de Grietas por Fricción-Cortante (Escalonadas).....	39
4.3.2	Fallo por tensión diagonal (Inclinadas)	40
4.3.3	Fallo a compresión (verticales)	42
4.3.4	Comportamiento de la mampostería a tracción.....	43

4.4	Deficiencias de ejecución y/o materiales.....	46
4.4.1	Falta de adherencia entre el mortero y el ladrillo.....	47
4.4.2	Morteros mal elaborados.....	48
4.4.3	Falta de Traba en las esquinas.....	49
4.4.4	Uniones a paredes existentes.....	49
4.4.5	Contracción de fragüe.....	50
4.4.6	Acciones mecánicas exteriores.....	50
4.4.7	Asentamientos diferenciales de los cimientos.....	51
4.4.8	Cargas puntuales.....	55
4.4.9	Muros sometidos a estados de carga muy diferentes.....	55
4.4.10	Flechas en vigas y forjados.....	56
4.4.11	Apoyo en los extremos.....	56
4.4.12	Aberturas.....	57
4.5	Acciones Higrotérmicas.....	57
4.5.1	Empuje entre muros adyacentes.....	58
4.5.2	Grietas por contracción térmica.....	58
4.6	Deficiencias del proyecto.....	58
5	ESTUDIO DE COLONIAS CON PROBLEMAS DE GRIETAS.....	60
5.1	Evaluación de Grietas.....	61
5.2	Encuesta.....	64
5.3	Estudio visual de grietas.....	66
5.3.1	Descripción de la zona de Estudio.....	66
5.3.2	Análisis estadístico de las encuestas.....	66
5.4	Estudio visual.....	68
5.4.1	Caso general de viviendas con problemas de grietas en la colonia el Rocío.....	68
5.4.2	Caso particular de una vivienda con problemas de grietas en la colonia Arboledas.....	72
6	MÉTODOS DE REPARACIÓN.....	79
6.1	Inyección Epóxica.....	79
6.2	Parqueo con mortero expansivo.....	81
6.3	Enchapado y refuerzo con doble malla.....	82
6.4	Engrapado.....	85
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características típicas de algunas piedras artificiales (Robles y otros, 1984)	8
Tabla 2. Diversos tipos de mampostería.	11
Tabla 3. Clasificación de los tipos de mortero de acuerdo a su resistencia (ASTM C270).....	20
Tabla 4. Mezclas de mortero adecuadas para diferentes resistencias de ladrillo. Ivor Seeley 1993.	26
Tabla 5. Factores que afectan la resistencia a la compresión.	38
Tabla 6. Clasificación de grietas según el nivel de exposición de la estructura	62
Tabla 7. Criterios para determinar el grado de daño de muros de mampostería después de un sismo.	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pirámides de Egipto (2500 a.C.).....	4
Figura 2. Nomenclatura de las partes de un ladrillo.....	13
Figura 3. Tipos de aparejo en muros de ladrillo.....	15
Figura 4. Detalles en planta y elevación de un muro diafragma	27
Figura 5. Muro diafragma enmarcado en perfiles de lámina.....	28
Figura 6. Requisitos para mampostería confinada (GDF, 2002)	29
Figura 7. Castillos y dalas y refuerzo en el perímetro de aberturas (GDF, 2002)	30
Figura 8. Requisitos para mampostería con esfuerzo interior (GDF, 2002)..	32
Figura 9. Refuerzo en aberturas y pretilas (GDF, 2002).....	32
Figura 10. Refuerzo por integridad (GDF, 2002)	33
Figura 11. Relaciones esfuerzo-deformación para el mortero las unidades aisladas y los paneles de mampostería.....	35
Figura 12. Ensayo de un murete para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería.....	36
Figura 13. Agrietamiento escalonado diagonalmente producido por un fallo de fricción-cortante.	40
Figura 14. Agrietamiento de las unidades de mampostería producido por un fallo de tensión diagonal.	41
Figura 15. Falla por agrietamiento vertical excesivo producido por esfuerzos de compresión.	43
Figura 16. Modos de fallos de la mampostería sujeto a tensión directa	44
Figura 17. Adherencia del mortero con el ladrillo.....	48
Figura 18. Grieta que rompe al mortero.....	48
Figura 19. Grieta que rompe al mortero y al ladrillo.....	49
Figura 20. Uniones a paredes existentes	50
Figura 21. Formas del asentamiento y el daño que causa	53
Figura 22. Estados de carga diferentes	56

Figura 23. Aberturas que debilitan el muro.....	57
Figura 24. Comparador plástico de grietas o grietómetro.....	63
Figura 25. Gráfica de casas que han sufrido ampliaciones	66
Figura 26. Gráfica de casas agrietadas en la colonia el Rocío.....	67
Figura 27. Gráfica de cantidad de grietas.....	67
Figura 28. Grafica de edad de las grietas.....	68
Figura 29. Forma de fijar la malla de refuerzo en un enchape (Lüders, Carl 1990)	82
Figura 30. Muro No. 4 con malla ACMA instalada.....	83
Figura 31. Aplicación de mortero proyectado.	84
Figura 32. Muro No. 3 con instrumentos instalados para ensayo.....	84
Figura 33. Engrapado de la grieta (Lüders, Carl 1990).....	85
Figura 34. Detalle de la grapa (Lüders, Carl 1990).....	86
Figura 35. Reparación Muro N°1	87
Figura 36. Reparación Muro N°2	87

1 INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo de la sociedad es de vital importancia contar con una vivienda digna y en condiciones de servicio, que permita resguardarnos de los fenómenos naturales.

Debo hacer notar que para lograr lo anterior no únicamente debe pensarse en la ampliación del número de viviendas, sino en mantener en condiciones de funcionamiento las viviendas que actualmente se tienen, esto se logra mediante la conservación y el mantenimiento de los elementos que la constituyen; previendo el posible daño causado por diversos agentes ambientales, o posibles fenómenos naturales, que producen daños muchas veces en la vivienda dando un aspecto de inseguridad a las personas que habitan el inmueble.

En nuestro país es notable el impulso que han dado las dependencias gubernamentales encargadas de promover la vivienda, en los últimos años el aumento de desarrollos habitacionales va en crecimiento debido a las facilidades para la obtención de créditos beneficiando a miles de familias. Desgraciadamente todavía en nuestro país las grandes cantidades de desarrollos habitacionales obliga a una producción en serie, provocando que no se realicen las pruebas necesarias de exploración de suelo y de calidad en los materiales de construcción, lo cual pone en riesgo la calidad y seguridad de la vivienda.

En el Estado de Querétaro, las estimaciones que se han hecho revelan que aproximadamente el 60% de las casas nuevas presentan daños, principalmente agrietamientos en paredes, en el primer año después de

construcción.¹

Las grietas en los muros de las viviendas representan un efecto adverso para el usuario que las habita; desde el punto de vista estético, de la durabilidad, y de la seguridad. Además de representar altos costos por reparación y sellado de las mismas.

Por tal motivo es importante tener un conocimiento amplio del tipo de grietas (grietas verticales, inclinadas y horizontales) que se presentan en los muros sus causas y la forma en que se pueden reparar.

Es por ello que en este trabajo describe en su segundo capítulo una breve reseña histórica sobre la mampostería desde las culturas antiguas hasta la época actual, también define el concepto de mampostería y muestra las principales propiedades mecánicas de la mampostería.

Así mismo el capítulo tercero habla de la evolución y descripción del muro esto para conocer las principales funciones de un muro. Además, de conocer los distintos tipos de bloques y ladrillos que se utilizan en la construcción.

En capítulo cuarto, describe de manera detallada las grietas en muros de mampostería, comenzando por su definición, origen y tipos. Posteriormente nos presenta los principales factores por lo que se originan como deficiencias de ejecución en los materiales, acciones higrotérmicas o por deficiencias en el proyecto.

En el capítulo 5 se realizan encuestas en la colonia El Rocío en el Municipio de Querétaro con el fin de encontrar las distintas características de las

¹ (COMEVI, Castro O. 1998)

grietas, esta colonia ha presentado problemas a través del tiempo. Durante esta investigación se pudieron obtener datos para poder describir el tipo de grietas y sus posibles causas.

También se realiza un estudio de un caso particular en la colonia Arboledas, en el cual tuvimos acceso en su totalidad a toda la vivienda, pudiendo realizar un estudio visual más amplio, y así poder describir de manera más amplia la fisura.

En el capítulo seis se describen los métodos más utilizados para resolver los problemas generados por las grietas, algunos de estos métodos han sido probados en otros países con magníficos resultados.

2 ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA

2.1 Historia de la mampostería

La mampostería es uno de los materiales, con una enorme diversidad de aplicaciones en la construcción de obras civiles.

Desde las primeras civilizaciones su uso se hizo una práctica cotidiana, algunos ejemplos; Las ruinas de Jericó (Medio Oriente, 7350 a.C.), las pirámides de Egipto (2500 a.C.), la gran muralla China (200 a.C a 220 d.C.), las pirámides de Yucatán en México (500 d.C.), las murallas de piedra de Machu Pichu en Perú (1200 a 1400 d.C.) y la Taj Majal en India (1600 d. C.).

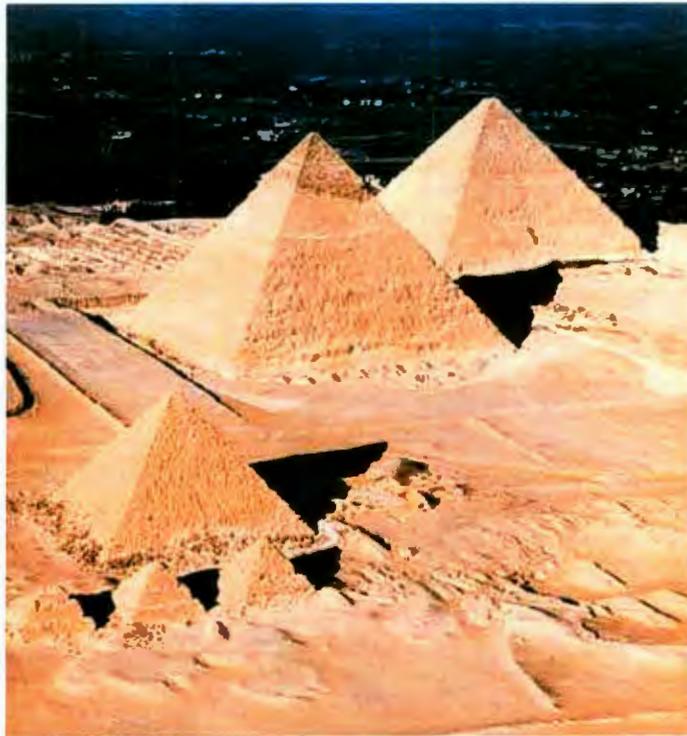


Figura 1. Pirámides de Egipto (2500 a.C.)

“La primera unidad artificial de mampostería consistió en una masa amorfa de barro secada al sol, conocida con el nombre de adobe (Ruinas de Jericó-

Medio Oriente 7350 años a. C.). Posteriormente se crearon las unidades artificiales de tierra y arcilla cocida en Sumeria (Valle del Éufrates y Tigres, 4000 años a.C.), dando paso a la masificación de las construcciones de mampostería en las primeras civilizaciones. A partir de ese momento, se levantaron enormes construcciones de ladrillos asentados con betún o alquitrán, como por ejemplo la Torre de Babel (8 pisos).

La materia prima existente en cada zona, generó una amplia gama de tipos de construcciones, desde las pirámides de Giza en Egipto, construidas con morteros de yeso y arena, hasta el templo de la diosa Atenea en Grecia (Partenón), donde se utilizaron piedras asentadas con mortero de cal y revestidas con mármol. Por su parte, el mortero de cemento puzolánico fue inventado por Vitrubio (arquitecto Romano, 25 a.C), por medio de una mezcla entre arena volcánica del Vesubio, cal y agua. A partir de ese instante, se construyeron cientos de estructuras, variando su forma (arco, bóveda, etc.) y tamaño.

En el siglo XVIII, paralelamente a la Revolución Industrial, empezó la industrialización en la fabricación de ladrillos, inventándose máquinas como trituradoras, mezcladoras y prensas para moldear mecánicamente el ladrillo. Sólo hasta principios del siglo XX, comenzó a estudiarse de manera racional y analítica la mampostería, a partir de ensayos realizados en estados unidos (1913) y en la India (1920)²

Con el transcurso del tiempo la mampostería ha desarrollado diferentes formas de fabricación, sin embargo la colocación de este material continua siendo a mano la cual es una *variable* que incide en el comportamiento de la mampostería.

² Ficha Técnica/ Capítulo 6. Comportamiento sísmico de edificios de mampostería no reforzada.

La construcción con mampostería permanece hasta nuestros días como uno de los sistemas más utilizados en países con antigua historia donde la mayoría de edificios históricos y viviendas corresponden a este sistema constructivo. Además, en países con desarrollo moderado o bajo (Latinoamérica), donde un gran número de centros urbanos han sido construidos con este sistema y, sin ningún tipo de supervisión técnica (sistema de autoconstrucción), exige un mejor entendimiento de su respuesta sísmica y, el desarrollo de métodos de diseño que incorporen características propias de estas estructuras, de tal manera que, su comportamiento ante acciones sísmicas sea adecuado.

“Debido al material empleado en este tipo de construcción, las estructuras son durables y económicas. Las estructuras a base de mampostería se construyen con tecnología simple y la mano de obra en la región es abundante. Una de las desventajas importantes de este tipo de construcciones es que resultan especialmente vulnerables a sismos moderados y fuertes (Tangshan 1976 y Manzanillo, Colima, México, 1995).

A lo largo de estos años, las estructuras de mampostería han sufrido el embate de intemperismo y las acciones de fenómenos naturales. Los sismos han sido, probablemente, los responsables del mayor número de fallas de viviendas que han causado un gran número de muertes. Desastres como estos han llevado a países como Japón por ejemplo, a abandonar, e incluso a prohibir la construcción con mampostería. De esta manera, la mampostería ha cedido el paso a materiales como el hormigón armado (concreto reforzado) y el acero estructural. En contraste, en otros países se han adoptado soluciones de refuerzo y confinamiento que han mejorado la capacidad sismo-resistente de la mampostería, haciéndola un material apto para ser empleado en zonas sísmicas. El buen desempeño de estructuras de

mampostería ante sismos fuertes en Europa y América Latina constituye un ejemplo que robustece la afirmación anterior.”³

2.2 Definición de Mampostería

Uno de los sistemas de construcción más antiguos consiste en colocar piedras o tabiques unos sobre otros, ya sea en seco o con mortero, para cerrar espacios o para servir de apoyo.

Los elementos de mampostería son los que están formados por piezas de dimensiones pequeñas, con respecto al elemento que forman, unidas por morteros aglutinantes. Las piezas pueden ser piedras naturales y artificiales. La mampostería de piedras naturales se usa principalmente en cimientos y las de piedras artificiales en muros que pueden tener una función estructural (muros de carga) o ser independientes de la estructura resistente.

Los muros de mampostería no solo se utilizan para estructuras, también para hacer subdivisiones de espacios, protección contra fuego, aislamiento térmico y acústico y, apariencia estética. Por lo tanto, puede decirse que la mampostería es apreciada por su color, forma, textura, disponibilidad, durabilidad, por su capacidad de aislamiento térmico y por su bajo costo, en comparación con otros materiales.

³ Procesos y Técnicas de Construcción, Hernán de Solminihaç T. Guillermo Thenoux, 2da. Edición. Editorial Alfaomega México DF. 2002 Pág. 233.

2.3 Propiedades Mecánicas de la Mampostería

Las propiedades mecánicas de la mampostería varían en muy amplios intervalos y dependen de la calidad de la piedra y del mortero; sin embargo, la interacción entre ambos materiales depende en forma importante del aparejo, o en general de la distribución interna de los mismos; además, las propiedades pueden verse afectadas por el deterioro. En la Tabla No. 1 se pueden apreciar valores de resistencia a la compresión, de coeficiente de variación, y de peso volumétrico para distintos tipos de mampostería.

Tabla 1. Características típicas de algunas piedras artificiales (Robles y otros, 1984)

MATERIAL	RESISTENCIA A COMPRESIÓN FP (KG/CM²)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN, CV	PESO VOLUMÉTRICO (T/M³)	
Tabique rojo de barro recocido	35 – 115	10 – 30	1.30 – 1.50	
Tabique extruido perforado verticalmente	150 – 430	11 – 25	1.65 – 1.96	
	310 – 570	15 - 20	1.61 - 2.06	
	150 – 400	11 - 26	1.66 - 2.20	
Tabique extruido macizo	375 – 900	5 – 16	1.73 – 2.05	
Tabique extruido, huecos horizontales	75 – 80	13 - 18	1.25 - 1.32	
	50 – 80	16 – 30	1.69 – 1.78	
Bloques de concreto	20 – 50	10 – 26	0.95 – 1.21	
	Ligero	20 – 80	1.32 – 1.70	
	Intermedio	70 – 145	7 – 28	1.79 – 2.15
	Pesado			

Tabicón	45 – 120	11 – 35	1.05 – 1.6
Silicio Calcáreo	175 – 200	11 – 15	1.79

Es difícil proponer valores típicos de las propiedades mecánicas; los resultados experimentales son escasos por la dificultad de reproducir en laboratorio las condiciones específicas de la obra, y por la gran variedad de situaciones que pueden presentarse. Por ejemplo la resistencia a compresión suele variar respecto al tipo de material.

La *resistencia en tensión* de la mampostería es muy baja y es gobernada por la adherencia entre el mortero y las piedras. Para fines de cálculo es normalmente recomendable considerarla igual a cero, aunque puede alcanzar valores entre 1 y 2 kg/cm².

La resistencia de un muro a *fuerzas de corte* es también regida por esfuerzos de tensión, esta vez en dirección diagonal; por lo mismo, los valores que se alcanzan son muy bajos, pero en este caso no pueden despreciarse, ya que de ellos depende la resistencia de los muros, y de las construcciones, ante fuerzas laterales como las inducidas por los sismos.

El comportamiento estructural de la mampostería ante los diferentes tipos de esfuerzos es esencialmente *frágil*. Esto es, el material falla de manera brusca al alcanzarse su capacidad de carga.

Para fines de cálculo de las deformaciones de las estructuras de mampostería, así como para análisis estructural, es importante conocer el *modulo de elasticidad* del material, que varía en intervalos sumamente amplios. Se han obtenidos valores desde 5000 kg/cm² para la mampostería irregular con altos contenidos de mortero, hasta de 200,000 kg/cm² en

mampostería de bloques de piedra de buena calidad con juntas de mortero muy delgadas.

Otro fenómeno importante es la *contracción* esta se debe al secado del barro; en la de ladrillo o piedras, al fraguado del mortero de cal que va acompañado de retracciones significativas.

El *flujo plástico* también genera cambios volumétricos significativos, el material es sometido a cargas de compresión, después de un acortamiento inicial elástico, continúa deformándose en el tiempo, mientras la carga permanezca.

2.4 Tipos de Materiales para Unidades de Mampostería

“Se llama mampostería a una estructura construida sobre la base del empleo de ladrillos de cerámica, bloques de cemento, piedras o algún otro elemento de forma semiregular, los cuales están unidos entre sí por una capa de mortero”⁴

A continuación en la Tabla No. 2 se presentan los distintos tipos de mampostería.

⁴ Procesos y Técnicas de Construcción, Hernán de Solminihac T. Guillermo Thenoux, 2da. Edición. Editorial Alfaomega México D.F. 2002 Págs. 233 - 234.

Tabla 2. Diversos tipos de mampostería.

Cerámica	▪ Ladrillos artesanales	
	▪ Ladrillos prensados	▪ huecos
		▪ llenos o macizos
	▪ Mampuestos	▪ de muros
		▪ de pisos
		▪ de chimeneas (refractarios)
Cemento	▪ Bloques llenos	
	▪ Bloques huecos	
Piedra	▪ Sillares: piedra labrada por todas sus caras	
	▪ Mampuestos: piedra labrada por una sola cara	
	▪ Piedra sin labrar	
Adobe		

La unión de las piezas para que formen una estructura integral se hace mediante el uso del mortero de cemento, con él se debe lograr además:

- Dar propiedad de resistencia al muro, produciendo la adherencia entre los bloques, a fin de que trabajen en forma monolítica.
- Lograr un sellado hermético entre las juntas.
- Conseguir adherencia con el acero de refuerzo en las juntas, los amarres metálicos y pernos de anclaje si los hubiera.
- Dar una buena calidad arquitectónica a las estructuras de albañilería

- Compensar las posibles variaciones de dimensiones de los bloques de hormigón o arcilla.

2.5 Ladrillos

Es un mampuesto (puesto a mano), fabricado con una gran variedad de materiales, tales como: el barro seco, la arcilla, la pizarra, la arcilla cocida, o la mezcla de estos. El proceso de fabricación, consiste en someter a la unidad a temperaturas entre 750° C y 1300° C, de tal forma que el agua se evapore y las partículas de arcilla se endurezcan, causando así la fusión de los componentes debido a las elevadas temperaturas. Posteriormente, tiene lugar una vitrificación parcial y la temperatura se mantiene por un tiempo preestablecido. El proceso completo puede tardar más o menos entre 40 y 150 horas, según el tamaño y volumen de los ladrillos y el tipo de horno. El enfriamiento debe ser controlado, ya que puede alterar la calidad de la unidad.

La arcilla con la que se elabora los ladrillos es un material sedimentario de partículas muy pequeñas de silicatos hidratados de alúmina, además de otros minerales como el caolín, la montmorillonita y la illita. Se considera el adobe como el precursor del ladrillo, puesto que se basa en el concepto de utilización de barro arcilloso para la ejecución de muros, aunque el adobe no experimenta los cambios físico-químicos de la cocción. El ladrillo es la versión irreversible del adobe, producto de la cocción a altas temperaturas.

Geometría del ladrillo:

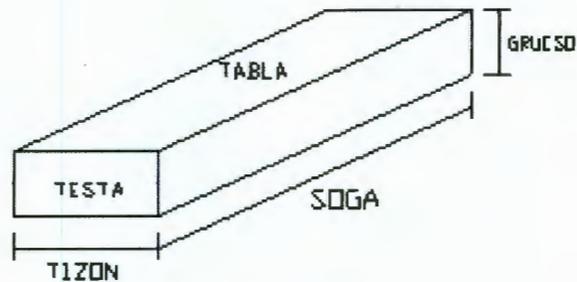


Figura 2. Nomenclatura de las partes de un ladrillo.

Su forma es la de un prisma rectangular, en el que sus diferentes dimensiones reciben el nombre de *soga*, *tizón* y *grueso*, siendo la *soga* su dimensión mayor. Así mismo, las diferentes caras del ladrillo reciben el nombre de *tabla*, *canto* y *testa* (la *tabla* es la mayor). Por lo general, la *soga* es del doble de longitud que el *tizón* o, más exactamente, dos tizones más una junta, lo que permite combinarlos libremente. El *grueso*, por el contrario, puede no estar modulado.

Existen diferentes formatos de ladrillos, por lo general de un tamaño que permita manejarlo con una mano. En particular, destacan el formato *métrico*, en el que las dimensiones son 24 x 11,5 x 5,25 cm (nótese que cada dimensión es dos veces la inmediatamente menor más 1 cm de junta) y el formato *atalán* de dimensiones 28 x 14 x 7 cm.

2.5.1 Tipos de Ladrillo

Todavía son la forma más popular de unidad de amurallado para la construcción. Su tamaño pequeño y su variedad de colores y texturas los hace una propuesta atractiva. Se dispone de una gran diversidad de ladrillos, que varían según los materiales que se utilizan, el método de manufactura y la forma, los cuales se considera a continuación.

Según su forma, los ladrillos se clasifican en:

- ♦ *Ladrillo perforado*, que son todos aquellos que tienen perforaciones en la tabla que ocupen más del 10% de la superficie de la misma. Muy popular para la ejecución de fachadas de ladrillo visto.
- ♦ *Ladrillo macizo*, aquellos con menos de un 10% de perforaciones en la tabla. Algunos modelos presentan rebajes en dichas tablas y en las testas para ejecución de muros sin llagas.
- ♦ *Ladrillo tejar o manual*, simulan los antiguos ladrillos de fabricación artesanal, con apariencia tosca y caras rugosas. Tienen buenas propiedades ornamentales.
- ♦ *Ladrillo hueco*, son aquellos que poseen perforaciones en el canto o en la testa, que reducen el volumen de cerámica empleado en ellos. Son los que se usan para tabiquería que no vaya a sufrir cargas especiales. Pueden ser de varios tipos:
 - Rasilla: su grueso y su soga son mucho mayores que su tizón. Sus dimensiones habituales son 24x11.5x2.5
 - Ladrillo hueco simple: posee una hilera de perforaciones en la testa.
 - Ladrillo hueco doble: posee dos hileras de perforaciones en la testa.

Los ladrillos son utilizados en construcción en cerramientos, fachadas y particiones. Se utiliza principalmente para construir muros o tabiques. Aunque se pueden colocar *a hueso*, lo habitual es que se reciban con mortero. La disposición de los ladrillos en el muro se conoce como aparejo, existiendo gran variedad de ellos.

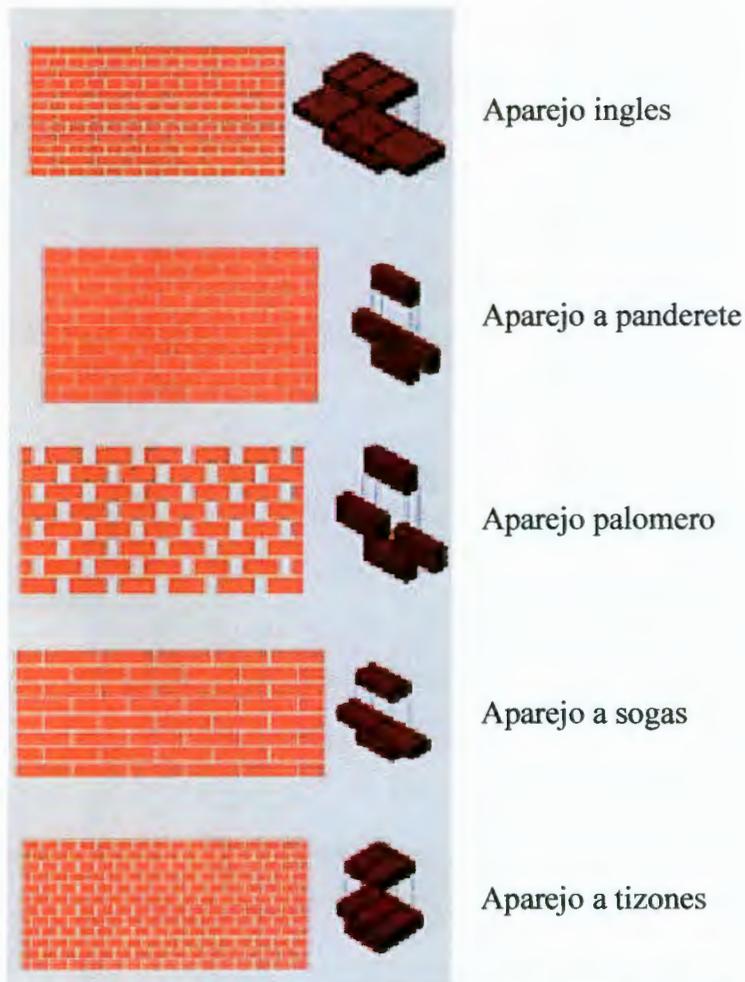


Figura 3. Tipos de aparejo en muros de ladrillo

Aparejo es la ley o traba a disposición de los ladrillos en un muro, estipulando desde las dimensiones del muro hasta los encuentros y los enjarjes, de manera que el muro suba de forma homogénea en toda la altura del edificio. Algunos tipos de aparejo son los siguientes:

- ♦ *Aparejo a sogas:* los costados del muro se forman por las sogas del ladrillo, tiene un espesor de medio pie (el tizón) y es muy utilizado para fachadas de ladrillo cara vista.
- ♦ *Aparejo a tizones* o a la española: en este caso los tizones forman los costados del muro y su espesor es de 1 pie (la sogá). Muy utilizado en muros que soportan cargas estructurales (portantes).

- ♦ *Aparejo inglés*: en este caso se alternan hiladas en sogas y en tizones, dando un espesor de 1 pie (la sogá). Se emplea mucho para muros portantes en fachadas de ladrillo cara vista. Su traba es mejor que el muro a tizones pero su puesta en obra es más complicada y requiere mano de obra más experimentada.
- ♦ *Aparejo en panderete*: es el empleado para la ejecución de tabiques, su espesor es el del grueso de la pieza y no está preparado para absorber cargas excepto su propio peso.
- ♦ *Aparejo palomero*: es como el aparejo en panderete pero dejando huecos entre las piezas horizontales. Se emplea en aquellos tabiques provisionales que deben dejar ventilar la estancia y en un determinado tipo de estructura de cubierta.

2.5.2 Fabricación de los ladrillos de arcilla

Estos ladrillos se hacen de arcillas compuestas principalmente de sílice y alúmina, con pequeñas cantidades de cal, hierro y manganeso y otras sustancias. Los diferentes tipos de arcilla producen una amplia variedad de colores y texturas. La mayoría de los ladrillos de arcilla se cuecen en horno.

Los ladrillos hechos a mano son más bien irregulares en forma y tamaño, con aristas desiguales; se usan únicamente para fachadas y se curten a la intemperie para lograr tonos atractivos. La mayoría de los ladrillos de arcilla se fabrican ya sea con prensas mecánicas o con cortadoras de alambre. En los ladrillos fabricados con prensas mecánicas se alimenta la arcilla en moldes de acero y se le da forma bajo mucha presión como cavidad única o doble, mientras que en los fabricados con cortadora de alambre, la arcilla se extrae de un amasador de arcilla en una banda continua y luego se corta en ladrillos por medio de alambres fijos en un bastidor.

2.6 Bloques de Concreto

Las unidades de concreto prefabricado han sido usadas para construcciones de mampostería durante muchos años.

Las unidades de bloques de concreto prefabricado están conformadas básicamente de cemento Portland, agua y agregados minerales, que van de la grava hasta materiales ligeros. Otros materiales pueden ser agregados para conferir determinadas características, tales como color, textura o reducción del peso. Las dimensiones de las unidades varían generalmente con múltiplos de 20 cm. Los factores más importantes que afectan la resistencia de las unidades de mampostería de hormigón son:

- 1) La relación agua-cemento,
- 2) El peso de la unidad,
- 3) El tipo de agregado y
- 4) El proceso de fraguado.

Son dos los tipos de bloque: perforadas y no perforadas, siendo las primeras las más utilizadas para fines estructurales, debido a su menor peso.

2.7 Otras unidades

“La construcción de mampostería ha sido producida y muy probablemente lo continuará siendo, producida por otros muchos materiales de diversas formas. Entre ellos están: 1) Las unidades de vidrio en bloque, que fueron producidas hace muchos años para uso en particiones y en muros exteriores y, que llegaron a convertirse en el principal componente arquitectónico de los estilos modernos entre 1930 y 1940. Aunque las unidades de vidrio son típicamente bastante fuertes, su uso es generalmente limitado a aplicaciones no estructurales. Sin embargo, la alta durabilidad del material, lo hace

bastante práctico para su exposición al exterior. 2) Las unidades de silicato de calcio, construidas de arena silíceas y materiales cálcicos”⁵

2.8 Mortero

El mortero se compone principalmente de tres materiales: cemento, arena y agua, sin embargo en algunos casos, se adicionan otros materiales, para aumentar su capacidad de adherencia y de secado, y para hacerlo más manejable durante la construcción.

“El Reglamento de Construcción del Distrito Federal especifica los siguientes puntos:

- a. Mezclado del mortero. Se acepta el mezclado en seco de los sólidos hasta alcanzar un color homogéneo de la mezcla, la cual sólo se podrá usar en un lapso de 24 hrs. Los materiales se mezclarán en un recipiente no absorbente, prefiriéndose un mezclado mecánico. El tiempo de mezclado, una vez que el agua se agrega, no debe ser menor de 4 min., ni del necesario para alcanzar 120 revoluciones. La consistencia del mortero se ajustará tratando de que alcance la mínima fluidez compatible con una fácil colocación.
- b. Remezclado. Si el mortero empieza a endurecerse, podrá remezclarse hasta que vuelva a tomar la consistencia deseada agregándole un poco de agua si es necesario. Sólo se aceptará un remezclado.
- c. Los morteros a base de cemento portland ordinario deberán usarse dentro del lapso de 2.5 hrs. a partir del mezclado inicial.

⁵ Ficha Técnica/ Capítulo 6. Comportamiento sísmico de edificios de mampostería no reforzada

- d. Revenimiento de morteros y concretos de relleno. Se deberán proporcionar de modo que alcancen el revenimiento señalado en los planos de construcción. ⁶

La calidad del mortero, es muy importante para la integridad de la mampostería, ya que éste es el responsable de garantizar la *adherencia* y la *cohesión* entre las unidades.

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, depende, en gran medida, las deformaciones totales del elemento de mampostería y, en parte, su resistencia a carga vertical. La adherencia entre el mortero y las piezas, define en muchos tipos de mampostería, sobre todo en aquellos en los que las piezas son muy resistentes, la resistencia a cortante del elemento.

La resistencia a compresión del mortero, f_j , no tiene, dentro de un intervalo bastante amplio, una influencia en el comportamiento estructural de la mampostería; sin embargo, el control de calidad del mortero, se basa en la determinación de esta propiedad, a través de ensayos de cubos de 5 cm. de lado. La razón para esta elección, está en la facilidad de la prueba y el hecho de que muchas otras propiedades, como por ejemplo la adherencia, su módulo de elasticidad y su resistencia a la tracción, pueden relacionarse en forma indirecta con la resistencia a la compresión.

⁶ Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería

Tabla 3. Clasificación de los tipos de mortero de acuerdo a su resistencia (ASTM C270).

DESIGNACIÓN	RESISTENCIA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN*	
		(PSI)	(MPA)
M	Alta	2500	17.2
S	Alta media	1800	12.4
N	Media	750	5.17
O	Baja media	350	2.41
K	Baja	75	0.52
*Resistencia promedio a los 28 días			

2.8.1 Componentes del mortero

Los principales componentes del mortero son:

1. *Cemento*: Su función es proporcionar resistencia a la mezcla. Usualmente se utiliza cemento Portland tipo I y excepcionalmente el tipo II (resistente a sulfatos). Su densidad es aproximadamente de 1500 kg/m^3 .
2. *Arena*: es la encargada de proporcionar estabilidad volumétrica a la mezcla y atenuar la contracción por secado, por lo tanto se recomienda no usar arena fina y lavar la arena gruesa cuando tenga polvo. Por otra parte, es preferible que los granos de arena sean redondeados y de una granulometría completa, es decir, con variedad en el tamaño de las partículas que permita rellenar fácilmente los vacíos. La arena de mar no debe usarse, debido a que las sales que ella contiene producirían la eflorescencia de la unidad.

3. *Agua*: el agua que se utiliza para la mezcla, debe ser potable, libre de partículas orgánicas y de sustancias deletéreas (aceite, ácidos, etc.). Su función es darle trabajabilidad a la mezcla e hidratar al cemento. El uso de agua de mar produce eflorescencia en los ladrillos por las sales que contiene.

4. *Cal hidratada normalizada*: de emplearse cal en el mortero, ésta debe ser hidratada y normalizada; la razón por la cual la cal debe ser normalizada se debe a que pueden existir partículas muy finas, que en vez de funcionar como aglomerante lo hacen como residuos inertes. La densidad de la cal es del orden de 640 kg/m^3 . Cuando se emplea cal en el mortero, ésta (a diferencia del cemento) endurece muy lentamente al reaccionar con el anhídrido carbónico del ambiente, en un proceso llamado carbonatación, el cual es beneficioso para el mortero por dos razones: 1) las fisuras se sellan a lo largo del tiempo al formarse cristales de carbonato de calcio, que proveen una resistencia adicional a la del cemento y, 2) al endurecer lentamente favorecen la retentividad de la mezcla.

2.8.2 Propiedades del mortero

Entre las principales propiedades del mortero se tiene:

1. La adherencia unidad-mortero: ésta se logra cuando los solubles del cemento son absorbidos por la unidad, cristalizándose como agujas en sus poros. La adherencia se ve favorecida cuando el mortero penetra en las perforaciones y rugosidades de la unidad, formando una especie de llave de corte entre las hiladas.

2. **Consistencia:** se define como la capacidad que tiene la mezcla de poder fluir o ser manejable utilizando los instrumentos adecuados para ello.

3. **Retentividad:** consiste en la capacidad de la mezcla de mantener su consistencia o de continuar siendo manejable después de un lapso de tiempo.

3 EVOLUCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MURO DE MAMPOSTERIA

Los muros se pueden construir de diferentes maneras y utilizando una gran variedad de materiales.

La mampostería es el material más utilizado en México debido a su fácil fabricación y su bajo costo. Aparte de que la técnica de colocación (mano de obra) se ha transmitido en generaciones, por lo cual el proceso constructivo es muy conocido y de buena calidad.

“Los muros de mampostería de piezas artificiales están formados básicamente por dos elementos, por un lado piezas prismáticas que forman los ladrillos o bloques, y por otro el mortero que se utiliza para unir dichas piezas prismáticas.

Existen además distintas modalidades de refuerzo, siendo común en México las siguientes: (a) *Mampostería confinada*, donde se utilizan elementos adicionales de concreto reforzado cuya finalidad es aumentar el confinamiento del muro y mejorar con ello su capacidad para resistir cargas verticales y laterales, aumentando en este último caso su resistencia y su deformación lateral y, (b) *Mampostería reforzada*, donde se agrega acero de refuerzo en la dirección vertical mediante el uso de piezas huecas y en la dirección horizontal en las juntas de mortero y/o empleando piezas especiales (conocidas como media cañas), cuya finalidad es también mejorar notablemente la capacidad de resistir cargas verticales y laterales, al aumentar en este último caso tanto su resistencia como su capacidad de deformación lateral.

La *mampostería no reforzada*, es aquella que: (a) no cuenta con refuerzo en el interior de las piezas y, (b) no tiene refuerzo adosado a las piezas, ya sea embebido entre el mortero que une a las piezas (como por ejemplo en el

caso de la escalerilla o de varillas de acero colocadas entre hiladas), o bien cuando esté adosado en una o ambas caras exteriores del muro (como en el caso de mallas electrosoldadas clavadas a la mampostería y embebidas en el recubrimiento de mortero).

Cuando a la mampostería se le confina por medio de elementos de concreto reforzado verticales (castillos) y horizontales (dalas) en su perímetro se le denomina *mampostería confinada*, que es el tipo de mampostería de mayor uso en edificaciones ingenieriles en nuestro país.

En la producción de piezas artificiales existe una gran diversidad, tanto en la calidad de la materia prima utilizada, en los procesos de manufactura y en las formas geométricas que se comercializan. En los morteros que se utilizan en la pega de piezas también existe una gran variabilidad, dado que frecuentemente se utilizan proporcionamientos en volumen de los ingredientes básicos (cemento hidráulico, cemento de albañilería, cal, arena y agua) diferentes, los que varían de región a región. Además, frecuentemente se utilizan distintos espesores de junta de mortero para pegar a las piezas, que son función del tipo de pieza, de la modalidad de la mampostería que se utiliza, así como del conocimiento y práctica profesional de cada región. Por lo tanto, se dificulta establecer una descripción general del comportamiento mecánico de la mampostería, y en muchas ocasiones hace poco confiable la extrapolación de resultados de un tipo de mampostería a otro.”⁷

⁷ Edificaciones de mampostería para vivienda, Fundación ICA A.C. Tercera edición, México D.F.

3.1 Funciones de los muros

Los muros tienen diferentes funciones las cuales son:

1. Resistir las cargas de los pisos superiores, y los techos.
2. Evitar que se presente humedad.
3. Mantener un aislamiento térmico.
4. Obtener un aislamiento acústico.
5. Proporcionar una buena apariencia, además de una buena distribución de puertas y ventanas.
6. División de espacios.

3.2 Resistencia de los muros

Los muros deben tener suficiente espesor para que los esfuerzos se mantengan dentro de los límites permisibles de los esfuerzos de compresión en los materiales del muro, por ejemplo los ladrillos y el mortero. Las cargas diferenciales sobre el muro pueden inducir esfuerzos de tensión y tanto el aparejo como las juntas de los tabiques o bloques deberán ser capaces de resistirlos. La razón de espesor a altura debe ser suficiente para evitar el pandeo y debe haber un apoyo lateral adecuado para evitar el volteo. Los materiales del muro deben ser durables y capaces de resistir las sales solubles, la contaminación atmosférica y otras condiciones desfavorables.

A continuación en la Tabla No. 4 se presentan algunas mezclas de mortero adecuadas para diferentes resistencias del ladrillo:

Tabla 4. Mezclas de mortero adecuadas para diferentes resistencias de ladrillo. Ivor Seeley 1993.

RESISTENCIA DEL LADRILLO	MEZCLA DE MORTERO (CEMENTO: CAL: ARENA POR VOLUMEN)
10	1:2:9
20 a 35	1:1:6
48 a 62	1:1/4:3
70 o más	1:0:3

3.3 Tipos de muros

3.3.1 Muros diafragma

“Son muros contenidos dentro de traveses y columnas de un marco estructural, al que proporcionan rigidez, ante la acción de cargas laterales, pueden ser de mampostería confinada, reforzada interiormente, no reforzada, ó de piedras naturales, y con un espesor no menor de 10 cm.

La unión entre el marco y el muro diafragma deberá garantizar la estabilidad de este, bajo la acción de fuerzas perpendiculares al plano del muro. Además, las columnas del marco deberán ser capaces de resistir, cada una, en una longitud igual a una cuarta parte de su altura libre, una fuerza cortante igual ó mayor a la mitad de la carga lateral que actúa sobre el tablero. (Figura 4).

Pueden integrarse al marco, usándolos como cimbra parcial de traveses y columnas, o bien colocarse después del cimbrado el marco, usando dadas y castillos de "empaque" o morteros con aditivo expansor en la mezcla en lugar de la última hilada. El concepto de diagonal equivalente (aproximado) o el concepto de elemento finito, se usan para el modelo matemático de análisis estructural.

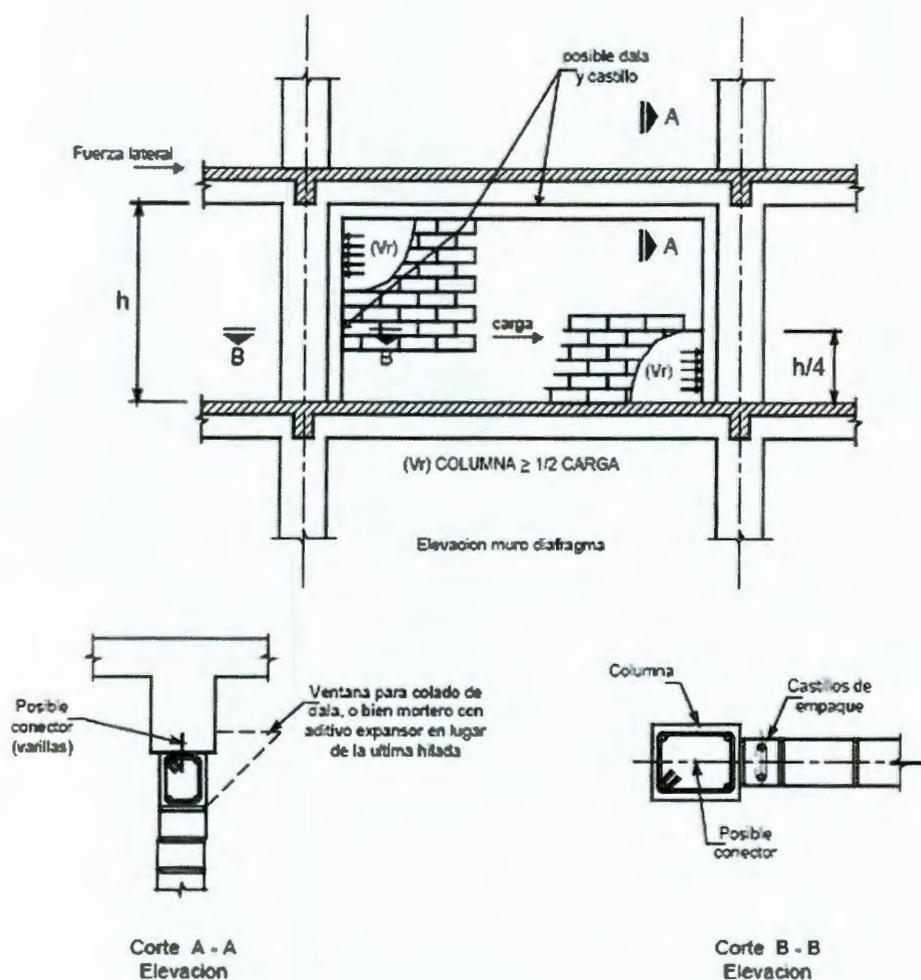


Figura 4. Detalles en planta y elevación de un muro diafragma

Un caso de estructuración para vivienda, que resulta interesante y no muy frecuente, lo constituye un conjunto de marcos metálicos ortogonales, montados en una primera etapa, como un esqueleto "vacío", usando perfiles de lámina delgada en traveses y columnas; en una segunda etapa, permiten la colocación de muros de bloques de concreto, de tabique o de concreto celular o ligero, "rellenando" el espacio dentro de traveses y columnas, formando unas piezas "mixtas" y de paso constituyendo el "empaquetado" requerido para un muro diafragma (Figura 5).

Esta estructuración permite la prefabricación parcial, con las ventajas de la estructura mixta, pero con los acabados e imagen arquitectónica difícilmente dominada, y además, requiere la milimetría y especialización durante la fabricación y montaje de la estructura metálica.

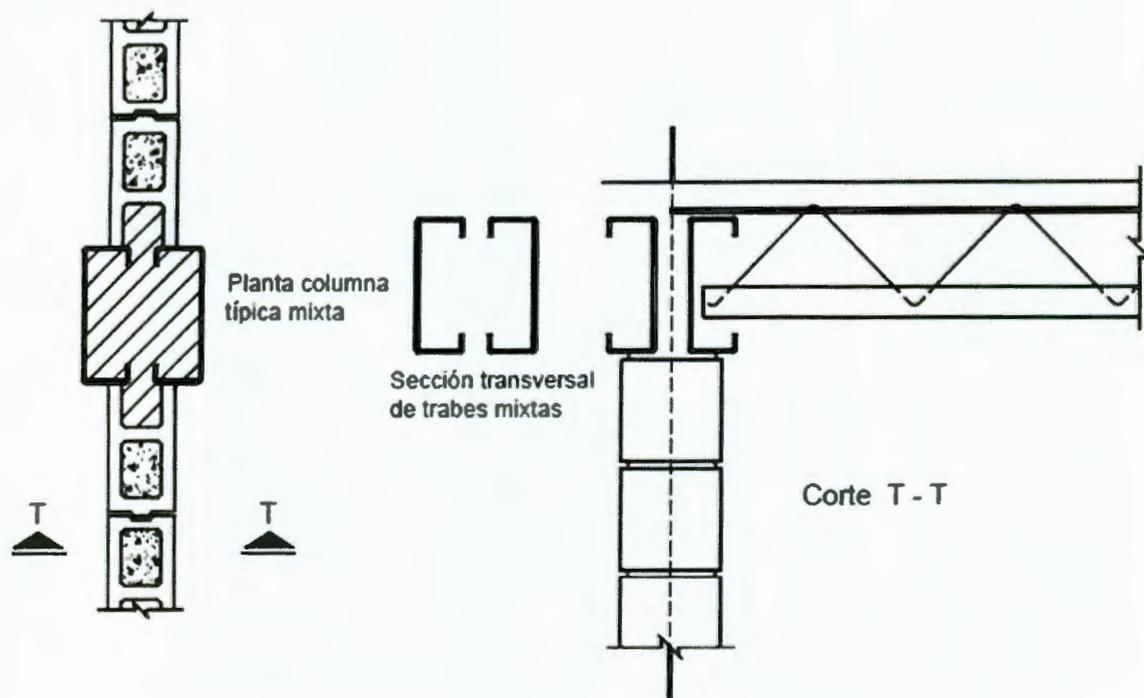


Figura 5. Muro diafragma enmarcado en perfiles de lámina.

Siempre será objeto de creación, algún procedimiento constructivo, que requiere estudio y verificación analítica y experimental.

3.3.2 Muros confinados

Son muros reforzados con dalas y castillos que cumplen con requisitos geométricos y de refuerzo, definidos en la sección 5.1.1 a 5.1.4 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de

Estructuras de Mampostería (NTCM) y que se resumen en la Figura 6 y 7 (GDF, 2002).

Existirán elementos de refuerzo (dalas y castillos), en el perímetro de todo hueco, cuya dimensión exceda de la cuarta parte de la dimensión del muro en la misma dirección.

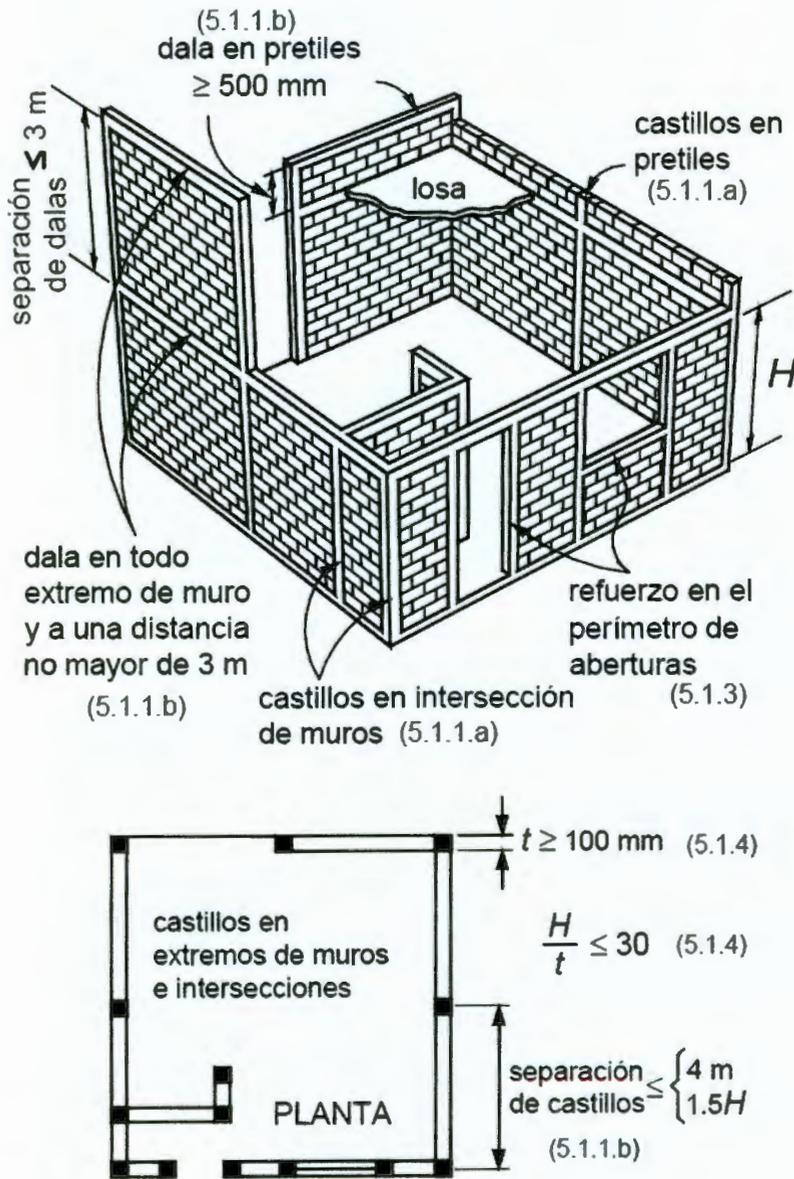
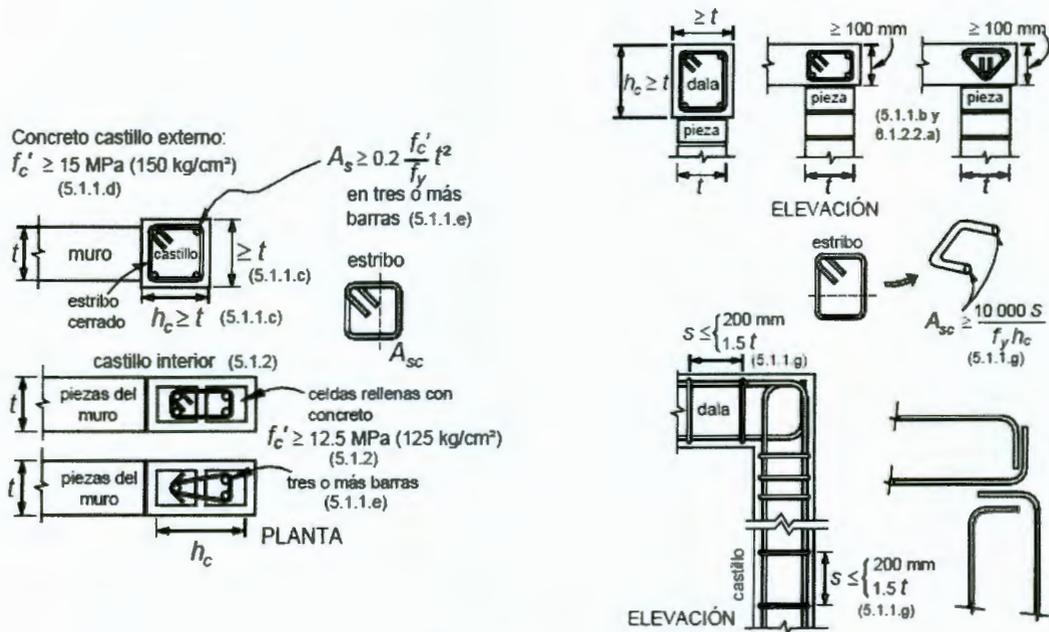


Figura 6. Requisitos para mampostería confinada (GDF, 2002)



Castillos y dalas

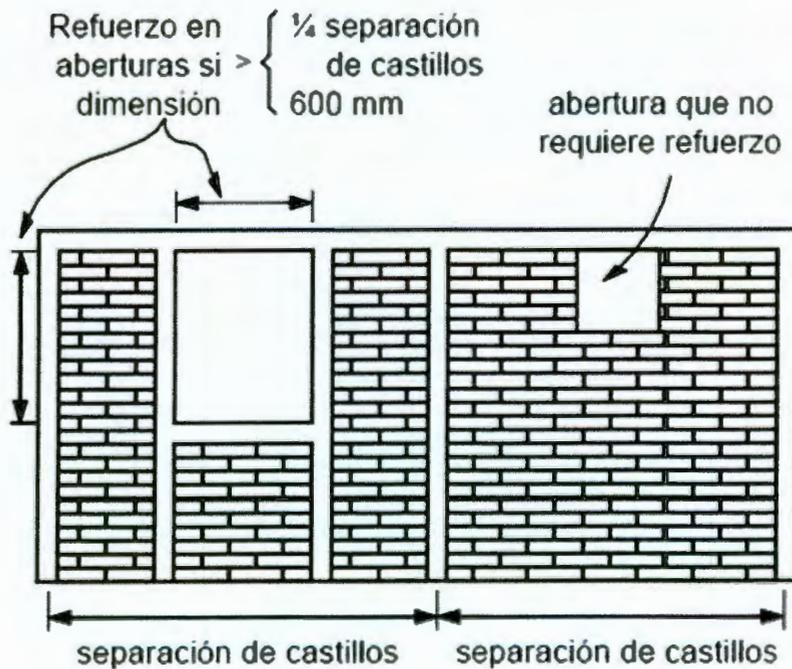
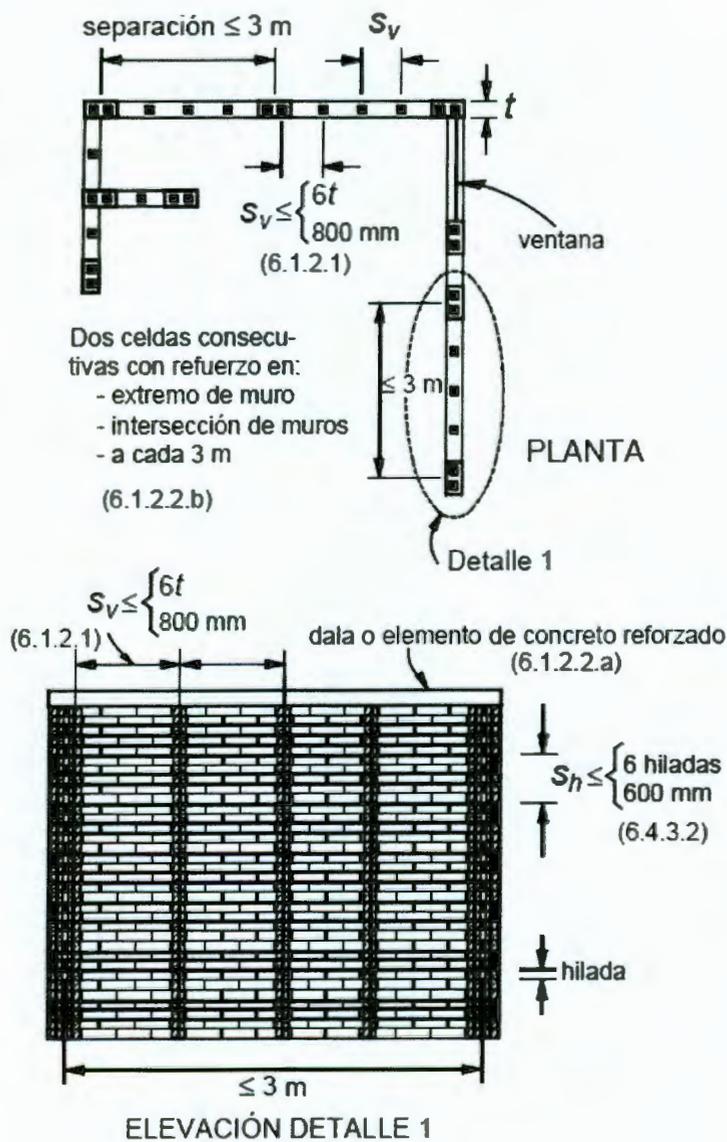


Figura 7. Castillos y dalas y refuerzo en el perímetro de aberturas (GDF, 2002)

3.3.3 Muros reforzados interiormente

Son muros reforzados con barras ó alambres corrugados de acero, horizontales y verticales, colocados en las celdas de las piezas, en ductos ó en las juntas, y deberán cumplir con los requisitos 6.1.1 a 6.1.9 de las NTCM (Figuras. 8 y 9).



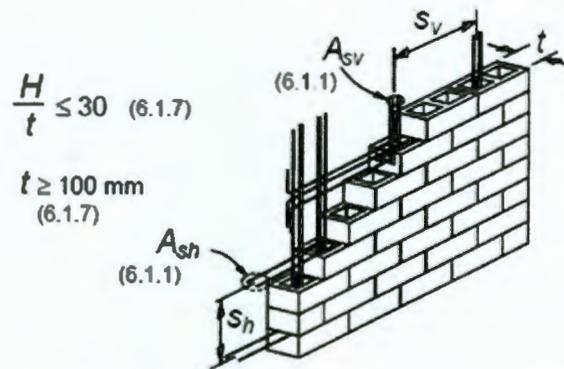


Figura 8. Requisitos para mampostería con esfuerzo interior (GDF, 2002)

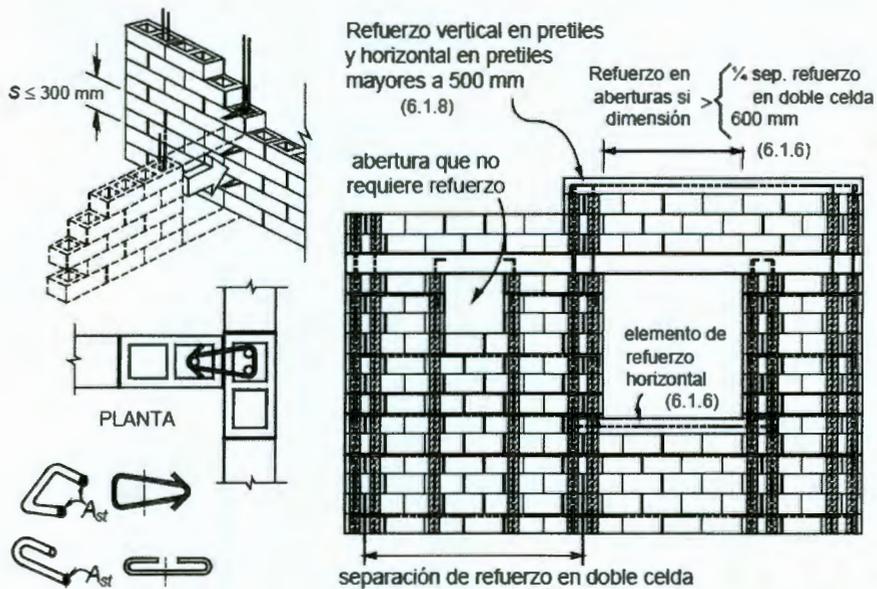


Figura 9. Refuerzo en aberturas y pretiles (GDF, 2002)

Para el colado de los huecos donde se aloje el refuerzo vertical, podrá emplearse el mismo mortero que se usa para pegar las piezas, o un concreto de alto revenimiento, especificado en la sección 2.5.3 de las NTCM. Deberá existir una supervisión continua en la obra, que asegure que el refuerzo esté colocado de acuerdo con lo señalado en planos y que los huecos en que se aloja el refuerzo, sean colados completamente; solo de

esta forma puede asegurarse el comportamiento adecuado; aunque esto no implica que deban evitarse, ya que su aprovechamiento arquitectónico y conveniencia económica los mantendrá vigentes.

3.3.4 Muros no reforzados

Son aquéllos que no cumplen con el acero mínimo especificado para ser incluidos en alguna de las tres categorías anteriores.

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 en las secciones 7.3.1 a 7.3.3 de las NTCM. 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 (Figura 10).⁸

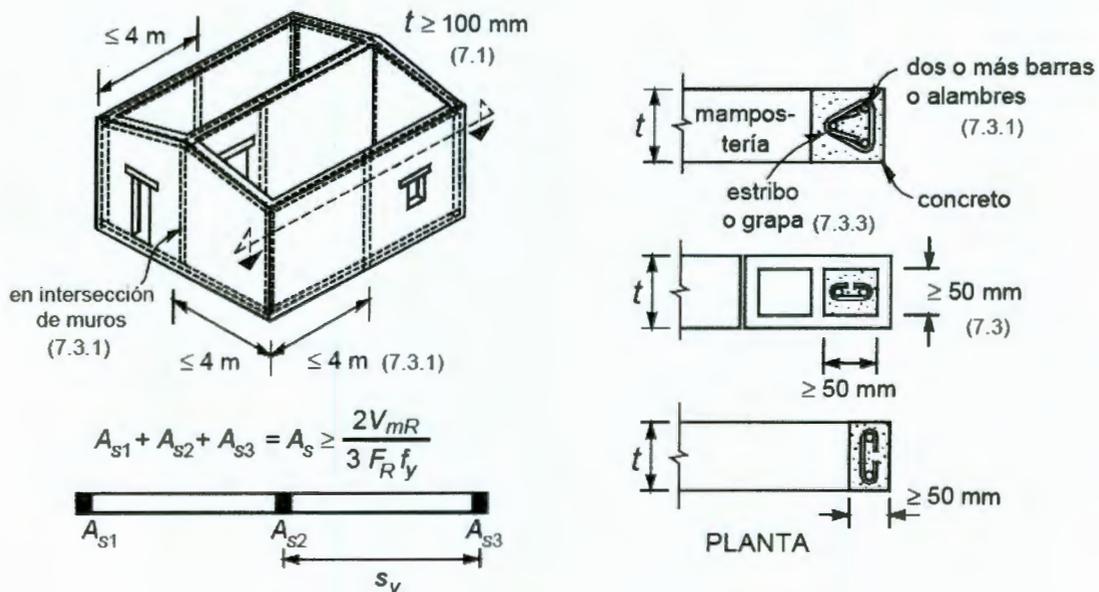


Figura 10. Refuerzo por integridad (GDF, 2002)

⁸ Edificaciones de mampostería para vivienda, Fundación ICA A.C. Tercera edición, México D.F, 2002.

4 GRIETAS EN MUROS DE MAMPOSTERIA

Al observar un muro agrietado no solo debemos concentrarnos en el efecto de la grieta sino que además debemos investigar la mayor cantidad de datos que nos den una pista sobre la verdadera causa del defecto.

Una grieta puede tener múltiples orígenes, en algunos casos una rápida mirada será suficiente para determinar el origen de la misma, pero en la mayoría de los casos no es así.

Una grieta se define como una abertura incontrolada que afecta la superficie y el espesor del muro.

Existen diferentes factores que dan origen a las grietas entre ellos tenemos:

- A. Deficiencia de ejecución y/o materiales
- B. Acciones mecánicas externas (cargas y asentamientos diferenciales del terreno).
- C. Acciones higrotérmicas
- D. Deficiencias del proyecto.

4.1 Comportamiento mecánico de la mampostería en Compresión

“La mampostería de fábrica de ladrillo es un material que presenta un comportamiento óptimo cuando está sujeta a esfuerzos de compresión. Su comportamiento y los modos de falla ante cargas axiales dependen de la interacción de piezas y mortero; ésta puede interpretarse en la siguiente forma: las piezas y el mortero tienen características esfuerzo-deformación diferentes (Figura 11); por lo tanto, al ser sometidos a un mismo esfuerzo, se

produce una interacción entre ambos, que consiste en que el material menos deformable, las piezas en general, restringe las deformaciones transversales del material más deformable (el mortero), introduciéndole esfuerzos de compresión de dirección transversal. Por el contrario, en el material menos deformable, se introducen esfuerzos transversales de tracción, que disminuyen su resistencia respecto a la que se obtiene en el ensayo de compresión simple del material aislado.

El ensayo que se utiliza para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería, f_m , se hace sobre muretes, es decir, sobre una pila de piezas superpuestas unidas por mortero, con una relación altura/espesor (h/t) aproximadamente igual a 4 (Figura 12). Se utilizan estas condiciones en particular, debido a la relativa facilidad de construcción y ensayo del murete, con el cual, se reproducen razonablemente los modos de fallo observados en los muros a escala natural. Adicionalmente, en un murete de estas dimensiones, las restricciones a las deformaciones transversales introducidas por las cabezas de la máquina de ensayo, no influyen de manera importante en su comportamiento"⁹

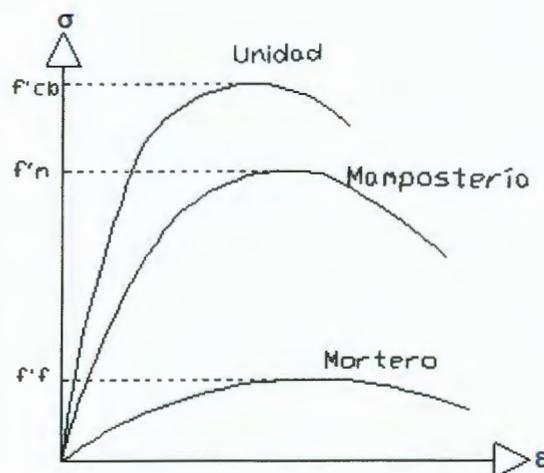


Figura 11. Relaciones esfuerzo-deformación para el mortero las unidades aisladas y los paneles de mampostería.

⁹ Edificaciones de mampostería para vivienda, Fundación ICA A.C. Tercera edición, México D.F, 1999.

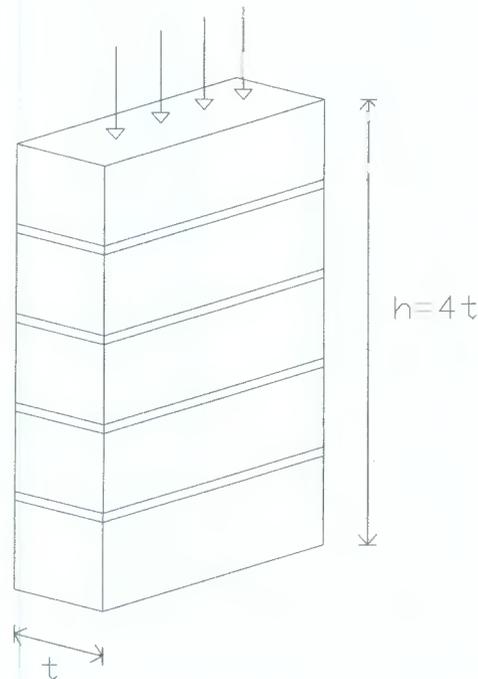


Figura 12. Ensayo de un murete para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería.

El tipo de fallo más común en este tipo de ensayo, es la formación de grietas verticales en las piezas, producidas por las deformaciones transversales. Generalmente, el daño se concentra en las unidades del centro, ya que es allí, donde el efecto del confinamiento inducido por las celdas de carga, es menos significativo. No obstante, otros tipos de fallo pueden presentarse, como consecuencia de las posibles combinaciones que se generan al variar la calidad y las propiedades de las unidades y el mortero, como es el caso del fallo por aplastamiento en unidades de baja resistencia. Por lo tanto, la resistencia a la compresión de la mampostería f_m depende tanto de las propiedades mecánicas de los materiales constitutivos como de la forma como éstos se combinan para formar la mampostería. A continuación se describen algunos de estos factores:

- Tipo y geometría de las unidades de mampostería: la resistencia a la

compresión varía con el porcentaje del área perforada o aligerada de las unidades. Si esta área es menor del 20 % del total de la sección transversal y para diferentes formas de perforación (poligonal o circular), la resistencia de la unidad es la misma que la del panel. Para el caso de perforaciones rectangulares, la resistencia del panel puede disminuir debido a la concentración de esfuerzos que se presentan en las esquinas internas. Si se sobrepasa el límite mencionado, la relación entre la resistencia del panel a la resistencia de la unidad, disminuye hasta valores del 38 al 43 %. Por otra parte, se ha podido comprobar que la resistencia de las unidades aumenta cuando disminuye su altura.

- Características del mortero de unión: diversos ensayos de laboratorio realizados sobre mampostería de piedra y ladrillo, han permitido concluir que la resistencia de aplastamiento del mortero, no influye notablemente en el valor de la resistencia a compresión del panel, pero si en sus propiedades de deformabilidad y adherencia, ya que ejerce un efecto de restricción de la deformación lateral de las unidades, induciendo un estado triaxial de esfuerzos de compresión, mejorando así su resistencia. Así mismo, dada la importancia que tiene la deformabilidad del elemento de unión, también resulta importante la relación entre el espesor de la junta de mortero y la altura de la unidad de mampostería; si dicha relación es alta, la tendencia al fallo será hacia el deslizamiento en la junta, mientras que, si presenta valores bajos, la resistencia a compresión del panel y la resistencia de la unidad son aproximadamente iguales.
- La humedad y absorción de la unidad de mampostería: es muy importante que las unidades estén saturadas para que no absorban el agua del mortero, produciendo una alteración de las características del

mismo e impidiendo incluso que se produzcan las reacciones químicas de algunas partículas de cemento por falta de agua.

La Tabla 5 resume algunos de los principales factores de las unidades, el mortero y de la propia mampostería, que afectan su resistencia a la compresión.

Tabla 5. Factores que afectan la resistencia a la compresión.

Características Unidades	Características Mortero	Paneles de Mampostería
Resistencia	Resistencia	Colocación
Absorción	Espesor	Hechura
Humedad	Relación agua-cemento	Dirección de carga
Relación altura-espesor	Características de deformación	Adherencia
Geometría	Retentividad de agua	

4.2 Comportamiento mecánico de la mampostería a Cortante

“Para el diseño de estructuras de mampostería no reforzada, sometidas a cargas laterales inducidas por viento o por movimientos sísmicos, es necesario evaluar adecuadamente la resistencia a cortante. Generalmente, los esfuerzos de cortante son combinados con los esfuerzos de compresión producidos por cargas gravitatorias u otras acciones. Consecuentemente, el caso puro de cortante no tiene aplicación práctica y, por lo tanto, la resistencia a cortante de la mampostería se investiga considerando el efecto de los esfuerzos de compresión en la dirección normal a las juntas horizontales. En otros casos, el estado de esfuerzos en la mampostería es más complejo (esfuerzos biaxiales) y es necesario utilizar un criterio de fallo general para evaluar la resistencia de la mampostería.

4.3 Modos de fallo

El comportamiento de la mampostería se caracteriza por dos efectos importantes:

- 1) La respuesta frágil de las unidades de mampostería en tracción.
- 2) La debilidad introducida por las juntas de mortero.

Los modos de fallo resultan a partir de la combinación de grietas de tensión diagonal cruzando las unidades y las grietas a lo largo de las interfaces mortero-unidad.

Los paneles de mampostería ensayados bajo la combinación de esfuerzos, muestran que pueden ocurrir diferentes tipos de fallo de acuerdo con la magnitud relativa de los esfuerzos normales, f_n (en dirección perpendicular a las juntas horizontales) y de los esfuerzos de cortante.

4.3.1 Tipos de Grietas por Fricción-Cortante (Escalonadas)

Este tipo de fallo ocurre para esfuerzos normales de compresión bajos y se produce por la unión débil de las interfaces mortero-unidad, dando lugar a esfuerzos cortantes deslizantes en las juntas horizontales.

La Figura 13 muestra la distribución escalonada de las grietas asociadas a este tipo de fallo, las cuales se forman a partir de los extremos de las juntas verticales, que constituyen planos de debilidad en la mampostería, debido a que su resistencia a la adherencia disminuye por causa de la contracción y de los vacíos existentes.

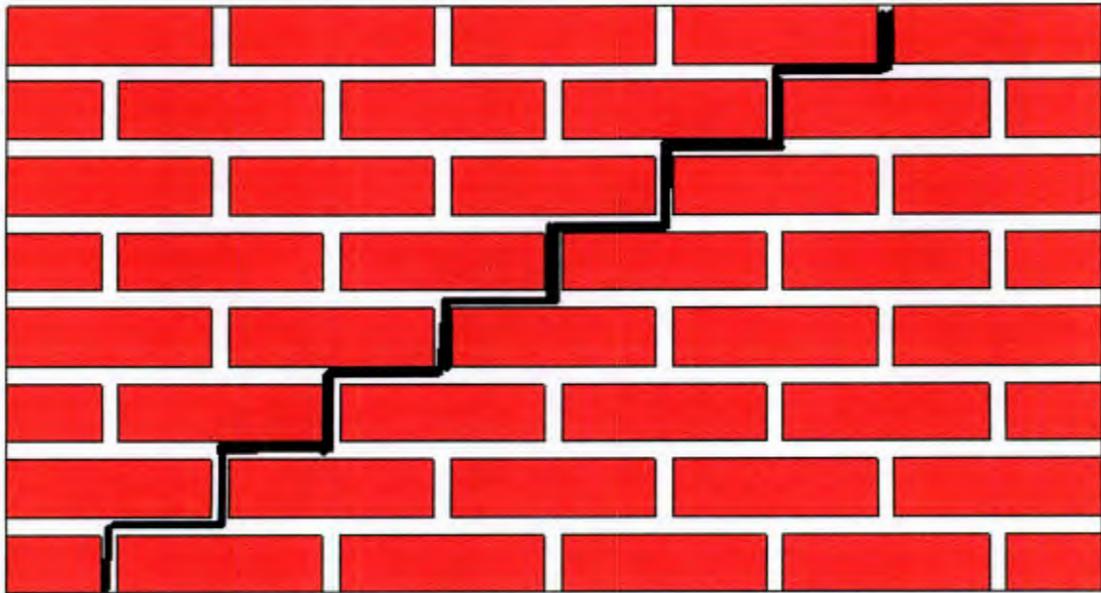


Figura 13. Agrietamiento escalonado diagonalmente producido por un fallo de fricción-cortante.

4.3.2 Fallo por tensión diagonal (Inclinadas)

Se produce directamente sobre las unidades de mampostería para valores de esfuerzos normales de compresión moderados. La resistencia a cortante de las juntas de mortero, se incrementa debido al efecto de los esfuerzos normales de compresión. Por lo tanto, las grietas se producen en las unidades, como resultado de los esfuerzos de tracción inducidos por el estado de esfuerzos de compresión y cortante. La Figura 14 muestra la distribución de las grietas que siguen la dirección de las juntas verticales y, pasan a través de las unidades con una inclinación que depende de la orientación de los esfuerzos principales en la unidad.

Este tipo de grietas se presenta debido a las deformaciones producidas por asentamientos diferenciales en la estructura, y se puede decir que una línea perpendicular a la grieta indicará casi exactamente el lugar del asentamiento.

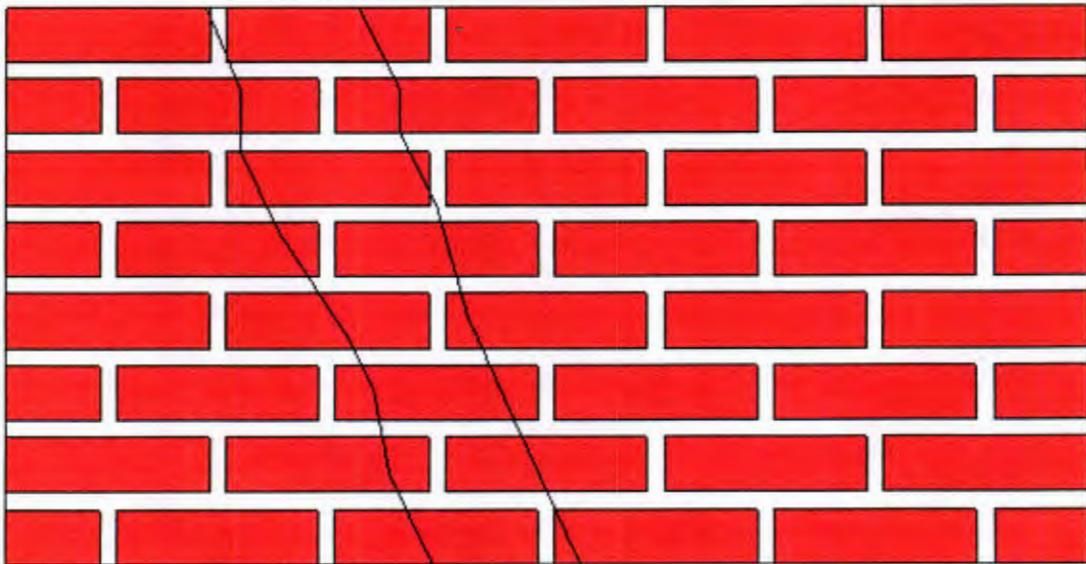


Figura 14. Agrietamiento de las unidades de mampostería producido por un fallo de tensión diagonal.

La forma de evitar que estas grietas sigan apareciendo, será la de investigar la causa de este asentamiento que, si se debe a fallas de terreno, podrá ser corregido ampliando la cimentación en ese punto; pero, si es debido a la vecindad de construcciones sumamente pesadas que han “jalado”, por decirlo así, a las construcciones ligeras colindantes, es casi imposible proceder a su reparación. Es por esto una buena práctica en construcción, desligar las construcciones una de otra, dejando una junta de deslizamiento mínima de 5 a 10 cms. para evitar en esta forma daños mayores.

En general este tipo de grietas no son de peligro, salvo que sean muy exageradas, y la mejor manera de recuperarlas consistirá en introducir cuñas de piedra a presión por ambos lados del muro, pegadas con cemento, que tendrán por objeto hacer que la parte superior del muro vuelva a apoyarse sobre la inferior comprimiendo ambas partes que, desde luego estarán flojas, y naturalmente, llenar el hueco consecuencia de la grieta. Generalmente estas grietas son reparadas por medio de elementos denominados “amarres”, que son pequeños refuerzos horizontales, y cuyo uso es completamente inútil, pues al seguir la causa que origina la grieta, ésta desde

luego no romperá el refuerzo, sino que pasará alrededor de él, quedando éste ligado a la parte superior o inferior, según el camino seguido por la grieta.

4.3.3 Fallo a compresión (verticales)

Las grietas se forman por las deformaciones verticales y se incrementan por el efecto de las deformaciones del mortero en las juntas. Estas grietas se propagan verticalmente y atraviesan las unidades de mampostería, llegando en algunos casos a comprometer la estabilidad del elemento y a producir el fallo del mismo (Figura 15).

Este tipo de grietas tienen diversas causas, entre las más comunes están:

- a. La unión de muros debido a cambios de temperatura.
- b. El fraguado desigual de los diversos materiales
- c. Por la existencia de tuberías o elementos de diversas instalaciones, embutidas dentro de ellos, y que, para su colocación, en un principio se hicieron ranuras que destruyeron la unidad del muro.

Este tipo de grietas es muy frecuente, por lo tanto, se encuentran principalmente en las líneas de unión de refuerzos verticales de concreto y muros de tabique; en estructuras, en los puntos similares tales como las uniones de muros de relleno y las columnas propias de la estructura, por no haberse logrado una solución correcta para resolver esta junta.

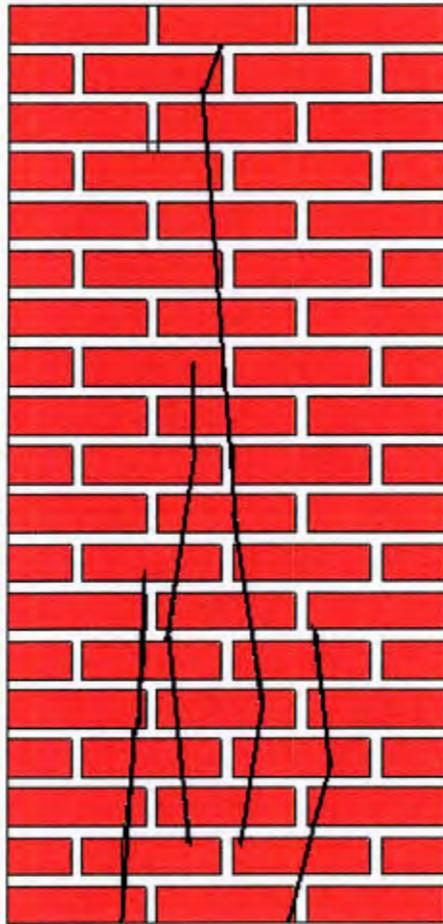


Figura 15. Falla por agrietamiento vertical excesivo producido por esfuerzos de compresión.

4.3.4 Comportamiento de la mampostería a tracción

La resistencia a la tracción de la mampostería está principalmente controlada por la resistencia a la adherencia desarrollada en las interfaces mortero-unidad

Diferentes tipos de fallo pueden ocurrir de acuerdo con: 1) la dirección de la carga de tracción y 2) la magnitud relativa de la resistencia de adherencia y la resistencia a la tracción de las unidades de mampostería. Cuando los esfuerzos de tracción son paralelos a las juntas horizontales de mortero, se pueden presentar dos tipos de agrietamiento: a) grietas completamente verticales que atraviesan las unidades (Figura 16 a.), donde la resistencia

está controlada por la resistencia a tracción de las unidades de mampostería y, b) grietas que no afectan las unidades y sólo se presentan a lo largo de las juntas de mortero (Figura 6.9 b.), donde los factores más determinantes son la resistencia a cortante y la longitud de traslape.

Por otra parte, cuando los esfuerzos de tracción actúan perpendicularmente a las juntas de mortero horizontal, los modos de fallo usualmente ocurren por separación de las interfaces mortero-unidad (Figura 16 c.). Sin embargo, también puede presentarse el fallo por tensión de las unidades, como se muestra en la (Figura 16 d).

Con relación a las Figuras 16 c y 16 d, este tipo de grietas se localizan en distintas partes del muro.

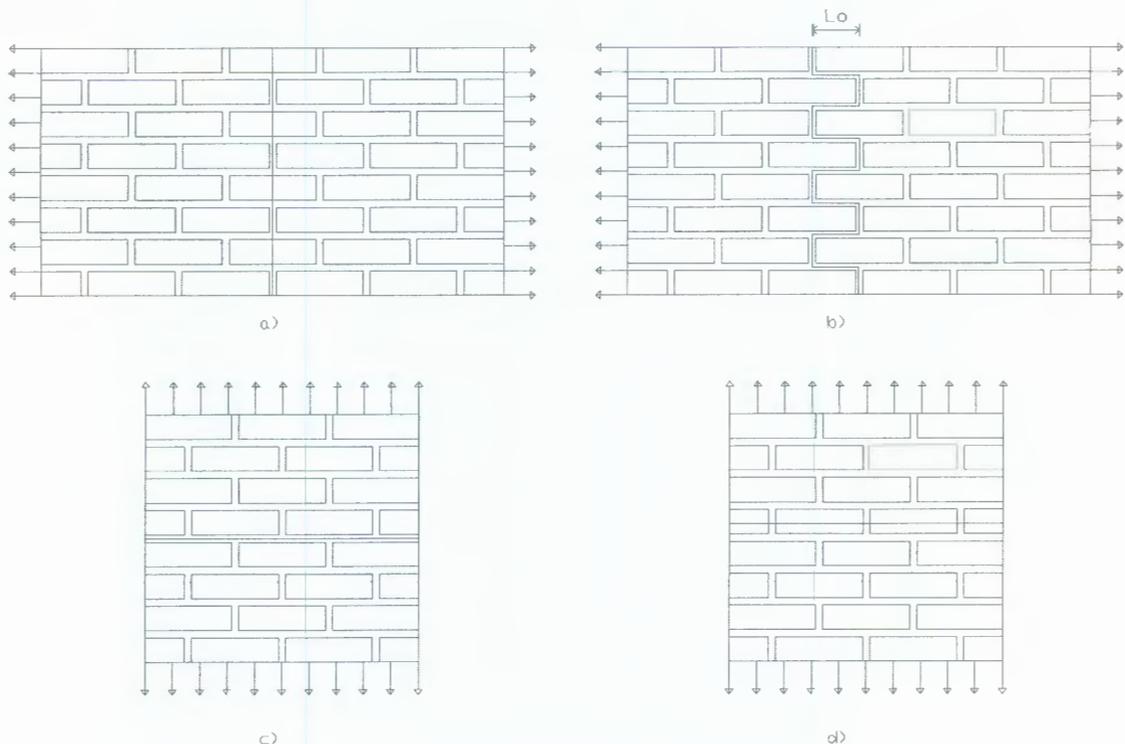


Figura 16. Modos de fallos de la mampostería sujeto a tensión directa

- a. *En la parte superior.* Se producen por lo general por las dilataciones de la cubierta y el muro. Se producen con frecuencia donde los techos están muy expuestos al sol, y son de difícil compostura, pero casi nunca de peligro. Para prevenirlas basta ligar el techo con castillos a la cadena o refuerzo horizontal al nivel de cerramientos.

Ocurren también debido al flambeo de las losas, lo que origina una grieta exactamente entre el apoyo de la losa y el muro. Cuando este flambeo no es de importancia, y por lo general la grieta tampoco, una vez ocurrida está, puede repararse mediante el relleno de la misma; pero si el flambeo es desproporcionado, la grieta presentará las mismas características; la solución debe ser reforzar la losa mediante vigas de concreto o metálicas volviéndola a su posición original mediante el empleo de gatos, corrigiéndose, en esta forma la grieta.

Cuando se tienen pretilos arriba de esta losa, por ser estos elementos sumamente ligeros, no ayudarán a evitar esta grieta, por lo que deberá colocarse una cadena como remate del pretil y ligarla, mediante castillos espaciados convenientemente, al nivel de cerramientos de puertas o ventanas.

- b. *A la mitad del muro.* Este tipo de grietas suele ser el de más peligro, pues aparece cuando el muro corre el riesgo de desplome por flambeo.

Su arreglo desde luego es radical, pues es necesario cambiar el muro y aumentar el espesor del mismo, haciendo previamente los apuntalamientos correspondientes del entepiso o techo. Puede ser corregida también, conservando la misma sección del muro, pero colocando dentro del mismo, refuerzos verticales que ayuden a soportar la carga.

- c. *En la parte inferior.* Este tipo de grietas, aunque es poco frecuente, es sumamente peligroso y casi siempre ocurre en casas ligeras donde el muro ha sufrido un desalojamiento horizontal en su parte inferior, consecuencia casi siempre de la dilatación de los polines o vigas de madera que sostienen el entepiso, los cuales erróneamente no fueron dejados separados del muro como tantas veces se ha indicado.”¹⁰

4.4 Deficiencias de ejecución y/o materiales.

Las deficiencias en los procedimientos constructivos y en la calidad de los materiales son un factor importante para que la mampostería no presente problemas durante su vida útil de servicio.

Entre algunos problemas podemos encontrar los siguientes:

1. Desplante deficiente de castillos por no prever su anclaje. En estos casos es necesario escarificar la losa o emplear barrenos con adhesivo de inyección y no la colocación de dados de concreto simplemente apoyados.
2. Falta de confinamiento o deficiente confinamiento en las ventanas.
3. Deterioro en las juntas del tabique, aún frescas, por falta de cuidado en la colocación de la cimbra de castillos.
4. Falta de cuidado en la preparación de mezclas.
5. Colado deficiente de los castillos interiores.
6. Esviajamiento (bayoneteo) del refuerzo vertical de los castillos por error en la posición.
7. Deficiencia en el colado de los castillos.
8. Aberturas excesivas para la colocación de instalaciones eléctricas e hidrosanitarias, sin tomar en cuenta el grave deterioro estructural.

¹⁰ Ficha Técnica/ Capítulo 6. Comportamiento sísmico de edificios de mampostería no reforzada

4.4.1 Falta de adherencia entre el mortero y el ladrillo

Existen numerosos parámetros que pueden afectar la resistencia de adherencia entre las unidades y el mortero, no obstante, su influencia e interrelación no está aún completamente definida. Los factores más importantes, relacionados con las características de los materiales son:

- ♦ Unidades: porosidad, tasa inicial de absorción de agua, la rugosidad de la superficie, el contenido de humedad y la reactividad química.
- ♦ Mortero: características de la arena, la relación limo-cemento, la retentividad de agua, el contenido de agua y la presencia de aditivos.

Un trabajo mal ejecutado o construido con materiales de deficiente calidad, dará por resultado un muro de poca resistencia a la tracción y se agrietará ante el menor esfuerzo.

A veces puede resultar difícil determinar si la grieta se produjo por un movimiento excesivo de la estructura o por falta de resistencia de la mampostería

La observación de las mismas nos puede dar algún indicio.

- a) Si la grieta produjo una separación limpia entre el mortero y el ladrillo, ello es debido a humectación del ladrillo o por problemas de elaboración del mortero como se muestra en la Figura 17. Si todos los ladrillos que bordean a la grieta tienen mortero adherido se debe descartar esa causa.
- b) Si el mortero está bien adherido al ladrillo el problema estará originado en movimientos que superan a la resistencia de la mampostería.

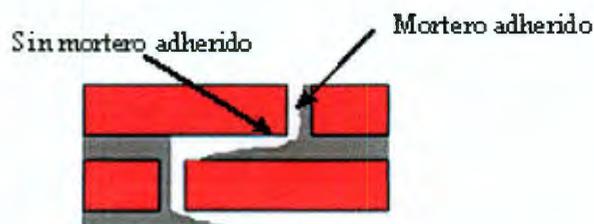


Figura 17. Adherencia del mortero con el ladrillo

El criterio es el siguiente:

1. Si hay falta de adherencia fácilmente aparece la grieta
2. Si la adherencia es correcta se puede controlar el esfuerzo
3. Si el esfuerzo es demasiado grande y la adherencia es buena se rompe el mortero y/o el ladrillo.

4.4.2 Morteros mal elaborados

La consistencia del mortero de asiento debe ser adecuada para lograr una mezcla trabajable. Debe sin embargo evitarse un mortero con exceso de agua pues se corre el riesgo de que escurra por las juntas y que además se produzcan contracciones de fragüe que provoquen fisuras.

Cuando hay falta de adherencia o el mortero es débil aparece fácilmente la grieta en el mortero como muestra la Figura 18.

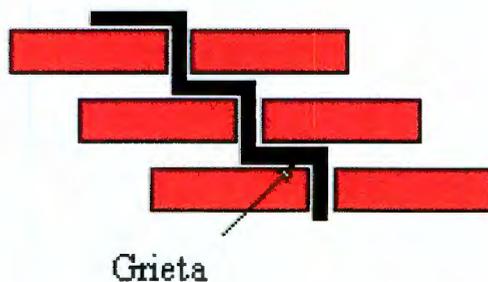


Figura 18. Grieta que rompe al mortero

Si la adherencia es correcta se puede controlar el esfuerzo

Si el esfuerzo es demasiado grande y la adherencia es buena se rompe el mortero y/o el ladrillo como muestra la Figura 19.



Figura 19. Grieta que rompe al mortero y al ladrillo

A fin de evitar problemas de adherencia es muy importante mojar bien los ladrillos un tiempo antes de su colocación.

4.4.3 Falta de Traba en las esquinas

Se denomina "aparejo" al orden o traba de colocación de los ladrillos.

La forma habitual es la denominada "soga" en donde hay un solape de $\frac{1}{2}$ ladrillo o bloque entre hilada e hilada.

Cuando se trata de esquinas con ángulos diferentes a 90° los ladrillos suelen ser cortados a inglete marcándose una grieta en la arista del ángulo.

Debe construirse de manera que todos los ladrillos queden trabados especialmente en las esquinas.

4.4.4 Uniones a paredes existentes

Debe respetarse la traba de los mampuestos. Para ello será necesario materializar un dentado en la pared existente o materializar una junta (Figura 20).

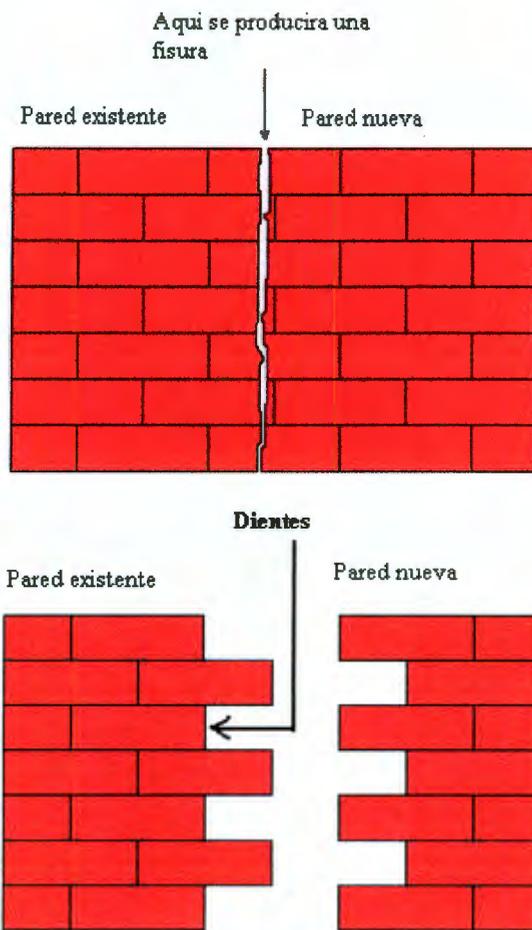


Figura 20. Uniones a paredes existentes

4.4.5 Contracción de fragüe

Si los morteros de asientos tienen mucho espesor y son muy ricos en cemento se producen fuertes contracciones de fragüe, que en algunos casos pueden llegar a romper el ladrillo o producir fisuras.

4.4.6 Acciones mecánicas exteriores

Es la causa más común y la que produce más grietas y abundantes. Estas acciones se transforman en esfuerzos que pueden ser de tracción, corte o rasantes. Las acciones de compresión raramente producen grietas.

Las acciones mecánicas pueden ser muy variadas, por lo que conviene agruparlas en una serie de tipos, de acuerdo a si el movimiento es de la estructura soporte o del movimiento propio del elemento.

4.4.7 Asentamientos diferenciales de los cimientos

Los suelos arcillosos varían su resistencia a la compresión según su contenido de agua.

Con la humedad natural (aprox. 18%) tienen muy buena resistencia pero a medida que aumenta el contenido de humedad también aumenta su volumen al tiempo que disminuye la resistencia llegando al valor límite del 26% (límite plástico).

Luego va disminuyendo su volumen y se licua a partir de 35%.

Al aumentar su volumen, el suelo ejerce una presión que ronda en los 4 kg/cm².

Como las cargas que los muros portantes transmiten al suelo están en el orden de los 2 kg/cm² puede ocurrir que la acción del suelo supere a las cargas empujando la estructura hacia arriba.

Si la humedad continua aumentando el suelo pierde volumen y resistencia produciéndose el fenómeno contrario.

En la medida que los asentamientos sean parejos el problema no es demasiado grande, los inconvenientes se magnifican cuando existen asentamientos diferenciales o humedad del suelo no pareja.

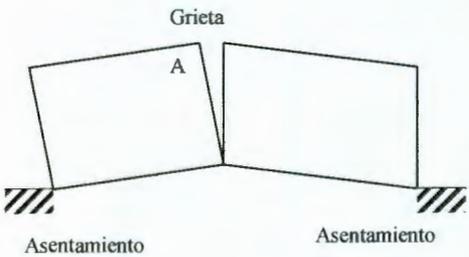
El exceso humedad puede provenir de: agua de lluvia que cae por los desagües del techo, falta de vereda perimetral, cañerías rotas, etc.

También se producen grietas en donde existen elementos constructivos de distinto peso.

En los cimientos que ceden en forma puntual, como ocurre al romperse un caño, o desagües que aflojan el terreno, las grietas pueden ser verticales o en forma de "V" invertida sobre el eje del asiento, o ligeramente inclinados en algunos tramos por los esfuerzos del corte. En otros, la base de apoyo se deforma aumentando su longitud. Según como y donde sea ese aumento aparece la grieta.

Si la pared es muy larga y apoya sobre un terreno débil puede resultar que no se llega a formar un arco de descarga por estar muy alejados los puntos de arranque. En consecuencia la grieta que se produce es horizontal, coincidente con una hilada en la parte inferior (Figura 21).

Efectos nocivos de los asentamientos diferenciales

Formas del asentamiento y el daño	Comentarios
 <p>A. Asentamiento en los extremos</p>	<p>Los extremos de la estructura se asientan más que el centro. Se forman grietas con ancho creciente hacia la parte superior de la estructura, que pueden ocasionar daño muy severo. La expansión diferencial del suelo es mayor en el centro que en los extremos, genera un efecto similar.</p>

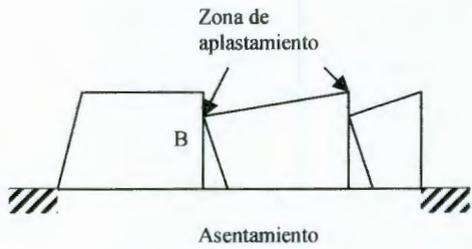
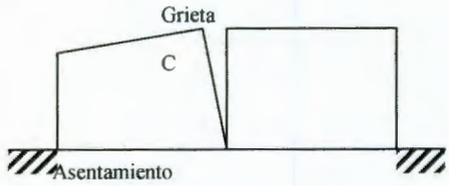
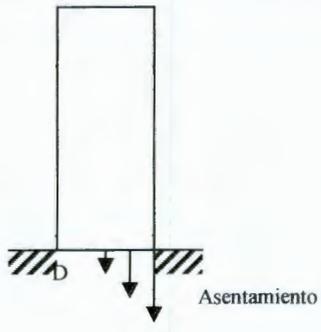
 <p data-bbox="228 590 718 623">B. Asentamiento cerca del centro</p>	<p data-bbox="778 229 1300 768">Los extremos se asientan menos que el centro. Se producen compresiones ubicadas en la parte superior del edificio. Si las deformaciones son muy grandes se pueden generar roturas por cortante, horizontales o inclinadas, y grietas de tracción hacia la parte inferior. Puede no ser crítico si las deformaciones son moderadas.</p>
 <p data-bbox="228 1087 695 1120">C. Asentamiento en un extremo</p>	<p data-bbox="778 797 1300 1058">El asentamiento diferencial de un extremo de un edificio largo, con respecto al otro, pueden generar grietas con la mayor abertura hacia la parte superior.</p>
 <p data-bbox="228 1535 601 1568">D. Asentamiento variable</p>	<p data-bbox="778 1149 1300 1688">El asentamiento crece gradualmente desde un extremo de un edificio alto hasta el otro. Se puede ladear toda la estructura sin agrietarse. En estructuras altas y esbeltas, las presiones no uniformes de fundación, mayores del lado del desplome, tienden a acentuar el problema y aún agravarlo con el tiempo.</p>

Figura 21. Formas del asentamiento y el daño que causa

Ejemplos de causas de asentamientos diferenciales:

Profundidad y ubicación de la cimentación:

- ◆ Cambios de volumen y pérdida de resistencia de las capas superficiales.
- ◆ Arrastre de material y socavaciones.
- ◆ Efectos de superposición de esfuerzos de estructuras vecinas.
- ◆ Excavaciones y futuras operaciones constructivas.
- ◆ Nivel de aguas del terreno y oscilaciones
- ◆ Accidentes en el subsuelo; fallas y cavernas.

Cambios Volumétricos:

- ◆ En muchos suelos con alto contenido arcilloso (con posibilidad de expandirse o contraer como son las montmorilonitas, ilitas y bentonitas) los cambios de humedad originan alteraciones volumétricas y pueden generar movimientos excesivos y el posible daño en las estructuras soportadas por ellos.
- ◆ Su comportamiento está asociado al clima en la zona. El problema lo resisten los edificios ligeros o livianos, los pavimentos y las instalaciones que llevan líquidos o gas.
- ◆ Para eliminar el problema se actúa de diversas formas: Evitando los cambios de humedad, colocando la cimentación debajo de la capa activa mediante pilotes, sustituyendo el suelo por una capa de espesor considerable del suelo inerte, construyendo una cimentación rígida que no resulte afectada por los cambios o estabilizando la capa superficial con cal.

4.4.8 Cargas puntuales

Las cargas concentradas pueden provocar aplastamiento.

Los aplastamientos se manifiestan con una grieta vertical acompañada de ramificaciones laterales.

Si la carga es aplicada en un extremo pueden aparecer fisuras a 45°

Las cargas verticales estén distribuidas o concentradas pueden ocasionar el pandeo del muro.

El pandeo es un fenómeno complejo que depende de la esbeltez del muro (Cuanto más alto y delgado se dice que es más esbelto y mayor es la posibilidad de pandeo).

También depende de su vinculación a columnas y losas en su perímetro y de la excentricidad de las cargas.

Al deformarse un muro por pandeo aparecen grietas y fisuras horizontales, abiertas en una de las caras y cerradas en la otra. El pandeo se produce en muros delgados que soportan grandes cargas.

4.4.9 Muros sometidos a estados de carga muy diferentes

En la Figura 22 se describe un caso muy habitual en donde el muro de la casa está sometido a un estado de carga muy distinto del cerco contiguo que no recibe carga alguna.

Ambos muros se deforman de distinta manera produciéndose grietas.

En este caso también se recomienda independizar los muros mediante una junta vertical.

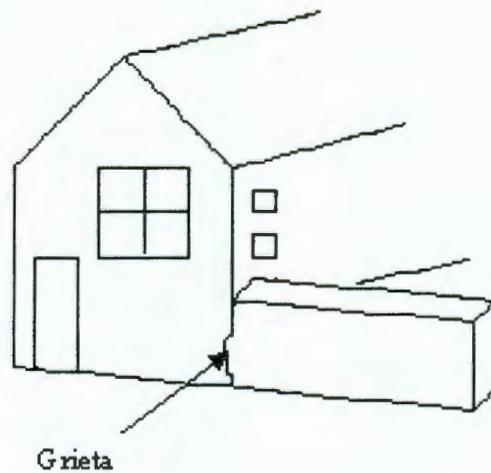


Figura 22. Estados de carga diferentes

4.4.10 Flechas en vigas y forjados

Estos defectos son raros en las estructuras bien calculadas, pero suelen verse cuando se construyen muros sobre entrepisos de losas premoldeadas o viguetas y bloques (forjados) sin tomar las precauciones del caso.

Donde apoya un muro debería reforzarse la losa colocando dos o tres viguetas juntas, o materializando una viga, pues de no hacerlo la deformación de la losa puede ser importante.

4.4.11 Apoyo en los extremos

En los entrepisos de losas premoldeadas o de bloques y viguetas, debe tratarse que el apoyo sea al menos $2/3$ del espesor del muro. También deben utilizarse bloques de techo de altura suficiente pues caso contrario la losa tendrá poco espesor y será muy elástica produciendo rotaciones con grietas y aplastamiento en el apoyo.

Además un apoyo insuficiente produce una excentricidad grande en las cargas que favorecen el pandeo.

4.4.12 Aberturas

Las aberturas debilitan el muro por que las cargas verticales que actúan sobre el dintel no son transmitidas al suelo por este paño sino por los paños laterales generándose esfuerzos diferenciales que pueden originar grietas como las indicadas en la Figura 23.

A veces si la deformación del dintel es importante, la resistencia a la tracción de la mampostería es superada ocasionando rajaduras en forma de arco.

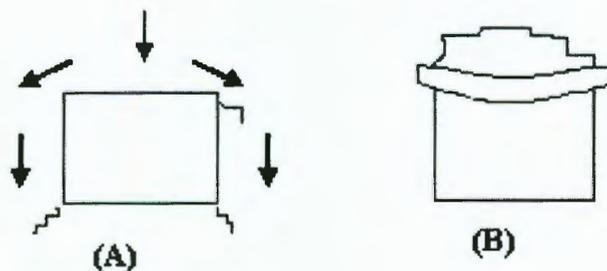


Figura 23. Aberturas que debilitan el muro

4.5 Acciones Higrotérmicas.

Las acciones higrotérmicas que se presentan en el medio ambiente (el calor y el frío), provocan que los materiales sufran algunos cambios como: dilatación o contracción, debido a la composición química de los materiales. Estos pueden dañar la estructura por lo que es conveniente seguir los procedimientos de construcción necesarios. Por ejemplo, el mojar los tabiques antes de ser colocados.

4.5.1 Empuje entre muros adyacentes

Las variaciones de temperatura y humedad provocan contracciones y dilataciones. Cuando la mampostería dilata puede producir empujes sobre elementos vecinos dando lugar a fisuras en los mismos, las paredes que miran al Norte y Oeste dilatarán más que las otras pudiendo producir empujes y fisuras verticales.

4.5.2 Grietas por contracción térmica

Al enfriarse un muro se contrae siendo sometido a un esfuerzo de tracción. Estas grietas son generalmente verticales, pues si bien la contracción es uniforme en todas las direcciones, el peso propio de la estructura contrarresta la deformación en sentido vertical. La ubicación de las grietas puede variar según las condiciones de vínculo lateral.

Si hay anclajes en sus extremos las grietas aparecen cerca de los mismos, si no hay anclajes aparecen más o menos centradas.

El coeficiente de dilatación térmica de la mampostería cerámica es de $0.5 \times 10^{-5} \text{ m/m } ^\circ\text{C}$.

4.6 Deficiencias del proyecto

La mayoría de los materiales de construcción cambia de tamaño debido a los cambios de temperatura, humedad o cargas a los que son sometidos por lo tanto es necesario llevar a cabo los procedimientos de construcción necesarios.

Estos movimientos aparentemente pequeños causan tensiones que pueden producir agrietamientos. Para evitarlos deben idearse diseños que minimicen acomoden o prevengan estos movimientos. Juntas, fijaciones y refuerzos de

acero son algunos de los sistemas generalmente empleados con el objeto de resolver estos problemas.

En los materiales cerámicos el cambio de volumen al saturarse con agua es parecido al del hormigón pero no es reversible. Esto quiere decir que el tabique rojo recocido después de haberse mojado abundantemente previo a su colocación no cambia más de volumen aunque se seque o moje posteriormente. En cambio el concreto al secarse disminuye su volumen y al mojarse aumenta. Las diferencias de propiedades de los materiales requieren un cuidadoso análisis y es causa de algunos problemas.

Errores u omisiones que consideramos destacables:

1. Uniones constructivas mal resueltas. Se tiene la concepción de que al aplicarles un mismo acabado superficial se logrará que ambas trabajen como un solo conjunto. Esto es erróneo ya que es necesario tener un confinamiento real de los muros, mediante la utilización de grapas o de una malla electrosoldada.
2. Falta de juntas de contracción/dilatación. Las juntas de construcción se deben ubicar a una distancia tal que los movimientos de contracción/dilatación no superen la cohesión interna o resistencia de la mampostería a la tracción horizontal.
3. Muros de cerramientos excesivamente débiles. Hay que evitar muros de cerramientos muy delgados y largos, o con instalaciones gruesas. Deben tomarse precaución con la instalación de agua caliente pues los metales tienen elevados coeficientes de dilatación térmica. También los metales deben estar protegidos ya que la corrosión provoca aumentos importantes de volumen.

5 ESTUDIO DE COLONIAS CON PROBLEMAS DE GRIETAS

La vivienda en México en un 90 % se realiza conforme a muros de carga de mampostería, lo que representa el 50 % de la construcción en México esto requiere que se desarrollen nuevos sistemas constructivos que eviten que la calidad de la vivienda sea deficiente.

Las grietas son un problema grave que afectan a las viviendas, es tan notable que simplemente podemos observar un muro en nuestra casa y encontraremos pequeñas fisuras en los muros.

Es necesario conocer el origen de estas y así poder evaluar que tan grave es el problema, por lo tanto como primer paso es poder describir sus características; forma, tamaño, espesor, etc., con la finalidad de que su reparación sea la más óptima.

En este capítulo describiré la forma en que se deben evaluar las grietas, además de realizar una encuesta de 30 muestras en una colonia que ha presentado grietas durante un largo tiempo. También presentare un caso particular de una vivienda que presenta una gran cantidad de grietas.

Observaremos mediante un reporte fotográfico las características más significativas para así poder evaluar la posible causa por la cual se presentan las grietas.

5.1 Evaluación de Grietas

Para poder determinar las posibles causas de las grietas se debe contar con datos, éstos se deben de recabar en campo por medio de una encuesta. En este capítulo se elabora una encuesta tomando en cuenta los parámetros del capítulo de rehabilitación de estructuras de mampostería del “Manual De Edificaciones De Mampostería Para Vivienda”.

El Manual nos explica lo siguiente “La causa más frecuente de falla en la mampostería (entendiendo como falla a la alteración del nivel de desempeño o a la condición por la cual deja de cumplir una función) son las grietas en los muros, y no el colapso.

La filosofía de diseño se basa en eliminar las grietas o bien, en limitar su anchura a valores tolerables. Las grietas pueden indicar un posible colapso, alterar la apariencia arquitectónica, o servir de entrada para lluvia y demás agentes agresivos. Una grieta aparece cuando las deformaciones del muro exceden la deformación de agrietamiento de la mampostería.

No existe una clasificación universal y absoluta de la anchura de grietas que pueda considerarse peligrosa, ya que depende de la función de la estructura, tipo de acción, forma de grieta, entre otras.

Según datos recabados en estructuras de mampostería de Noruega, las grietas con anchuras menores que 0,15 mm no permiten el paso de agua de lluvia arrojada por el viento contra el muro. Sin embargo, esto no significa que todas las grietas con anchuras mayores permitirán el paso de agua. Una clasificación de anchura de grietas según el nivel de exposición de la estructura se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de grietas según el nivel de exposición de la estructura

Categoría		Anchura de grieta AG, (mm.)
Muy finas	Impermeable	$AG < 0.15$
Finas	Exposición exterior	$0.15 < AG < 0.30$
Mediano	Exposición interior – húmeda	$0.30 < AG < 0.50$
Extenso	Exposición interior – seca	$0.50 < AG < 0.60$
Severo		$AG > 0.60$

También se ha propuesto criterios para determinar el grado de muros de mampostería por sismo. Conviene señalar que la propuesta de Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería también considera 5 niveles del daño.

Tabla 7. Criterios para determinar el grado de daño de muros de mampostería después de un sismo.

Grado	Estado de daño
I	Grietas pequeñas, difícilmente visibles sobre la superficie del muro. Grietas mínimas en castillos y dalas de confinamiento. Grietas con anchuras menores que 0,2 mm.
II	Grietas claramente visibles sobre la superficie del muro, con anchuras entre 0,2 y 1 mm.
III	Inicio de la formación de agrietamiento diagonal en muros confinados con castillos y dalas. Grietas grandes en la superficie del muro, con anchuras entre 1 y 3 mm.
IV	Agrietamiento diagonal en muros confinados con castillos y dalas, o en muros de relleno ligado a marcos; grietas con anchuras mayores que 3 mm. Inicio de la formación de agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dalas.
V	Desprendimiento de partes de piezas. Aplastamiento local de la mampostería. Prolongación del agrietamiento diagonal en castillos o en dalas (anchuras de grietas superiores a 1 mm). Agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dalas. Deformación, inclinación horizontal o vertical apreciable del muro.

Es importante tener en mente que el coeficiente de variación de la anchura de las grietas en estructuras de mampostería es del orden del 40 por ciento; esto significa que la anchura máxima puede ser hasta del doble de la anchura media en un solo elemento.

Con objeto de entender el comportamiento de la estructura, el diseñador debe registrar:

- ◆ patrón de grietas (horizontal, vertical, inclinado)
- ◆ longitud
- ◆ anchura (uniforme o variable uniformemente)
- ◆ profundidad (indicar si pasa a través de recubrimiento)
- ◆ edad.

La manera más sencilla para medir la anchura es mediante la comparación de la grieta con marcas de diferentes anchuras pintadas en láminas plásticas (llamado comparador de grietas o *grietómetro*). Las mediciones se mejoran en precisión si se usan lentes de aumento. Para mediciones más precisas aún, o bien de largo plazo, es conveniente recurrir a transductores de desplazamientos (de corriente directa o alterna) conectados a equipos electrónicos de captura de información.



Figura 24. Comparador plástico de grietas o grietómetro

Un aspecto crucial en la evaluación de una estructura de mampostería es determinar si la grieta está activa o es pasiva. Las activas manifiestan deslizamientos y anchuras mayores; mientras que las pasivas no cambian ni en anchura ni longitud. Existen tres métodos para detectar los movimientos de las grietas:

- a) Mediciones periódicas con ayuda de las láminas plásticas. Las mediciones se hacen sobre una misma grieta y en tres o cuatro lugares seleccionados con anterioridad.
- b) Testigos de yeso. Conviene usar agua caliente para acelerar el fraguado del yeso y registrar la fecha de colocación. Es importante tener cuidado que el testigo no se agriete por contracción del yeso.
- c) Monitores plásticos de grietas. Se trata de dos piezas plásticas que se adhieren una en cada lado de la grieta de interés. La pieza de plástico translúcido tiene marcado un par de ejes ortogonales; la de plástico opaco, que se coloca por debajo de la anterior, tiene marcada una cuadrícula graduada. El monitor se instala tal que los ejes ortogonales coincidan con el cero de la cuadrícula graduada. Las piezas se pueden desplazar relativamente sin restricción. Conforme la grieta se mueve, los ejes ortogonales marcan la magnitud de desplazamiento en sentido vertical y horizontal.”¹¹

5.2 Encuesta

La encuesta que se realizó, consistió en obtener la mayor cantidad de datos posibles para poder observar los efectos que producen y así determinar las posibles causas de las grietas.

La encuesta fue realizada en dos zonas, la primera parte se desarrollo en la colonia el Rocío en Querétaro, Qro., donde se encuestaron 30 casas

¹¹ Edificaciones de mampostería para vivienda, Fundación ICA A.C. Tercera edición, México D.F, 2002.

aleatoriamente, y en la mayoría de los casos se nos permitió verificar el problema de las grietas.

En la segunda parte se realizó un estudio particular en la colonia Arboledas en Querétaro, Qro., donde simplemente se visitó una vivienda que durante los últimos 5 años ha presentado problemas de grietas.

La encuesta contenía las siguientes preguntas:

Encuestado:

1. Material de la casa
2. Tipo de casa
 - a. Interés social
 - b. Autoconstrucción
 - c. Por alguna constructora.
3. La casa a tenido algún tipo de adecuación para la cual fue diseñada
4. Cuanto tiempo lleva de construcción la casa
5. Su casa sufre de algún tipo de fisura o grieta
6. Cuál es el numero de grietas
7. Ha hecho algún tipo de tratamiento para resolver el problema

Encuestador:

8. Como es la grieta o fisura (patrón)
9. Edad aproximada de las grietas
10. Ancho de la grieta o fisura
 - a. grietas menores 0.02 mm.
 - b. grietas de 0.2 a 1 mm.
 - c. grietas de 1 a 3 mm.
 - d. grietas mayores a 3 mm.
 - e. prolongación de agrietamiento en castillos o dalas mayores que 3 mm. (anchuras superiores a 1 mm.)

5.3 Estudio visual de grietas

5.3.1 Descripción de la zona de Estudio

En la Colonia El Roció la muestra consiste en 30 casas que se encuentran ubicadas aleatoriamente.

Estas viviendas son de interés social, de tabique rojo recocido, de aproximadamente 80 m² de construcción, con 22 años de construcción.

5.3.2 Análisis estadístico de las encuestas

a) Número de casas que han sufrido una ampliación.

Con ampliación	23
Sin ampliación	7

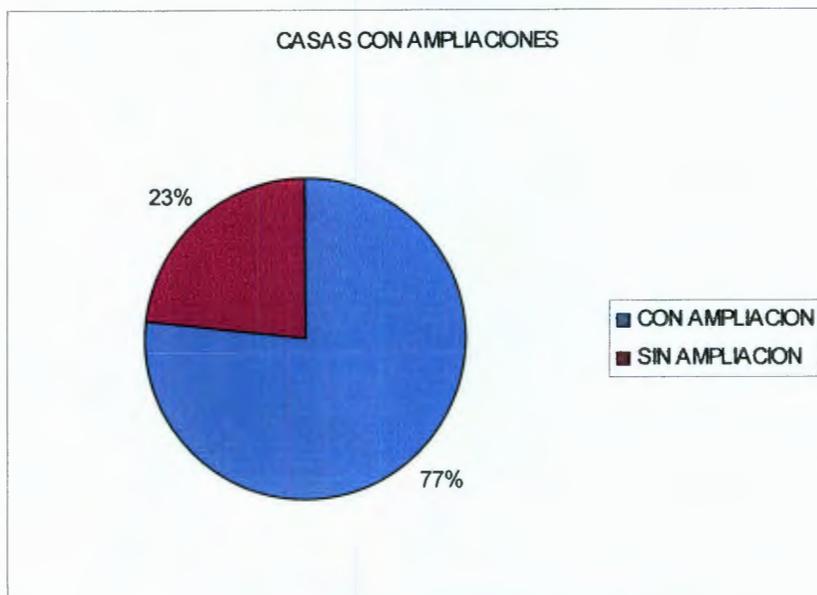


Figura 25. Gráfica de casas que han sufrido ampliaciones

b) Número de casas con grietas actualmente.

Agrietadas	24
------------	----

No agrietadas

6

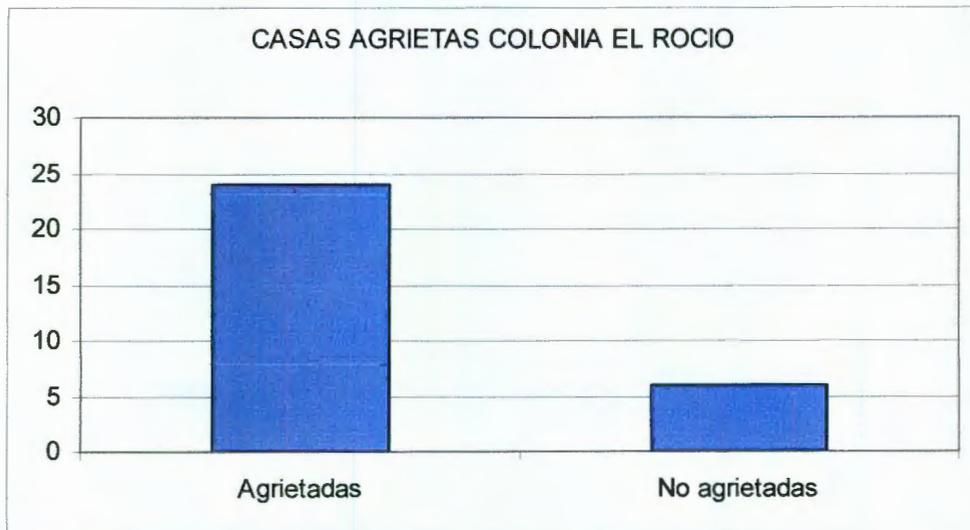


Figura 26. Gráfica de casas agrietadas en la colonia el Rocío

c) Numero de grietas por vivienda

Menos de 5	20
Entre 5 - 15	10
Más de 15	0

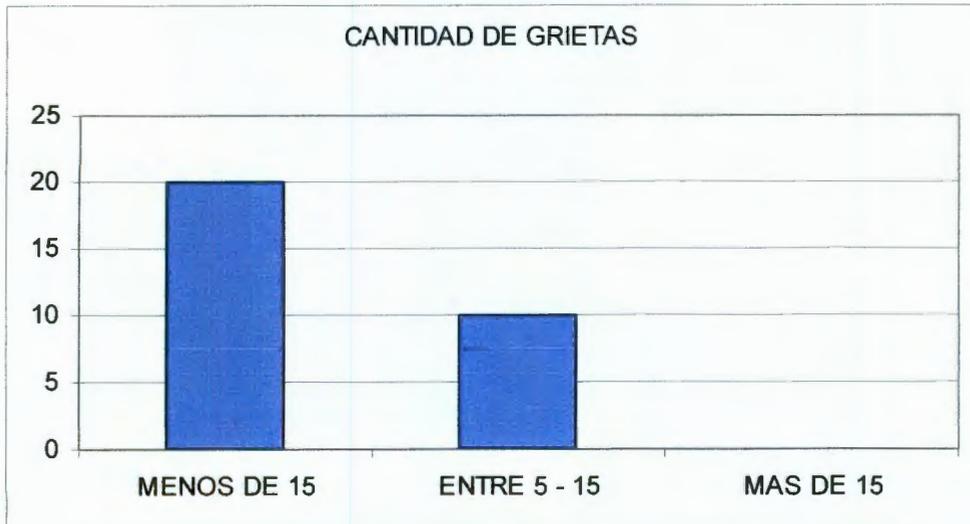


Figura 27. Gráfica de cantidad de grietas

d) Edad aproximada de las grietas

Menos de 1 año	2
Entre 1 - 2.5 años	5
De 2.5 a 5 años	10
Más de 5 años	13

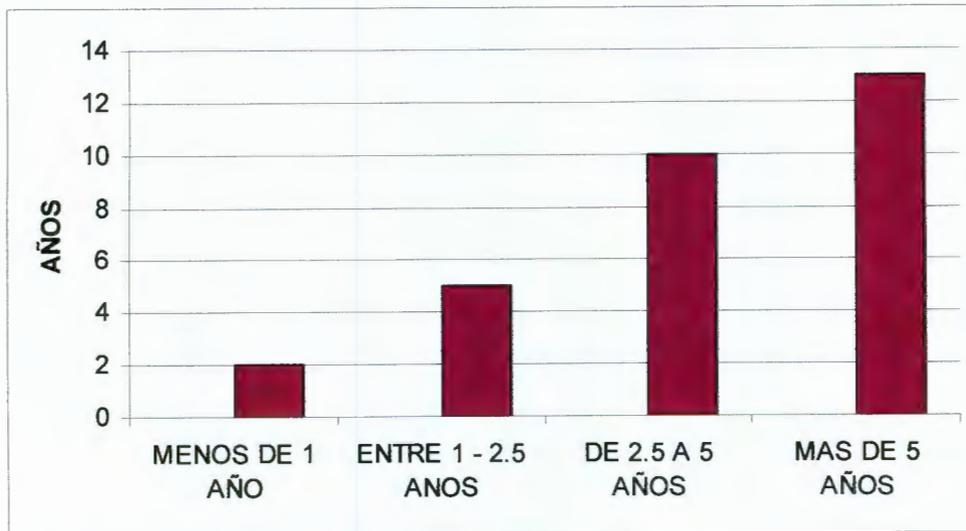


Figura 28. Grafica de edad de las grietas

5.4 Estudio visual

5.4.1 Caso general de viviendas con problemas de grietas en la colonia el Rocío

Lugar: En muro confinado por marco estructural.

Tipo de grieta: Vertical en la parte inferior del muro con algunos tramos inclinados en la parte media de la grieta.

Anchura: 1 mm.

Probable Causa: Restricción en la parte superior e inferior del muro.



Lugar: En muro confinado por marco estructural.

Tipo de grieta: Horizontal con pequeños relieves.

Anchura: 0.05 mm

Probable Causa: Contracción por secado debido al alto contenido de cemento que tiene el mortero empleado en juntas anchas con un contenido de agua y cal menor que el normal.



Lugar: A un costado de castillo

Tipo de grieta: Vertical de la parte superior a inferior.

Anchura: 12 mm.

Probable Causa: Problema constructivo de falta de traba entre el castillo y el tabique(boca de pescado).



Lugar: A un costado del castillo

Tipo de grieta: Vertical de la parte superior a inferior.

Anchura:12 mm

Probable Causa: Problema constructivo de falta de traba entre el castillo y el tabique(boca de pescado).



Lugar: En el muro a un costado de la ventana.

Tipo de grieta: horizontal de principio a fin con anchura constante.

Anchura: 3 mm

Probable Causa: Falta de confinamiento del vano, mediante castillos.



Lugar: En muro confinado por marco estructural.

Tipo de grieta: Inclínada con anchura constante.

Anchura: 0.02 mm

Probable Causa: Contracción del mortero y de las piezas de mampostería.



Lugar: A un costado del castillo

Tipo de grieta: Vertical de la parte superior a inferior.

Anchura: 11 mm.

Probable Causa: Problema constructivo de falta de traba entre el castillo y el tabique (boca de pescado).



Lugar: A un costado del castillo

Tipo de grieta: Vertical de la parte superior a inferior siendo de mayor anchura en la parte superior.

Anchura: 9 mm.

Probable Causa: Problema constructivo de falta de traba entre el castillo y el tabique(boca de pescado). Además de que es probable que la viga superior se haya flechado más que la inferior.



Lugar: A un costado del castillo

Tipo de grieta: Vertical de la parte superior a inferior.

Anchura: 9 mm.

Probable Causa: Problema constructivo de falta de traba entre el castillo y el tabique(boca de pescado).



Lugar: En muro confinado por marco estructural.

Tipo de grieta: vertical

Anchura: 7 mm.

Probable Causa: La viga superior se ha flechado, más que la inferior, aplicando al muro esfuerzos de compresión.



5.4.2 Caso particular de una vivienda con problemas de grietas en la colonia Arboledas

Este caso se observó de manera particular en la colonia Arboledas, esta vivienda está situada sobre un terreno con pendiente pronunciada, ha presentado este problema desde que fue construida, siendo muy notorias las grietas en varios puntos de la casa.

Lugar: Inclined in the lower part of the wall, being of greater width in the upper part of the wall.

Tipo de grieta: Inclined

Anchura: 3 – 5 mm.

Probable Causa: Differential settlement in one end, where the crack originates.

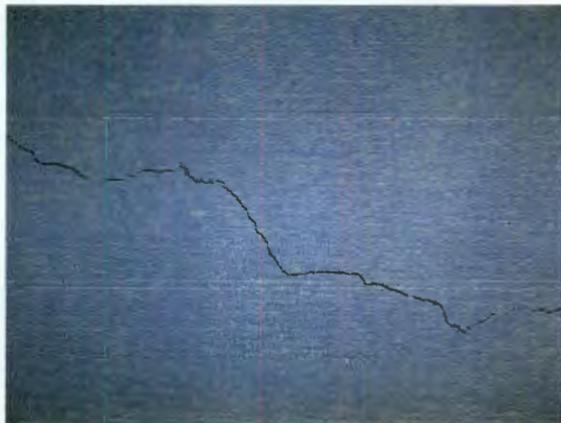


Lugar: In a wall confined by a structural frame.

Tipo de grieta: inclined and some edges in the form of a staircase.

Anchura: 4 mm.

Probable Causa: The wall is forced to move down due to the flexion of the upper and lower beams.

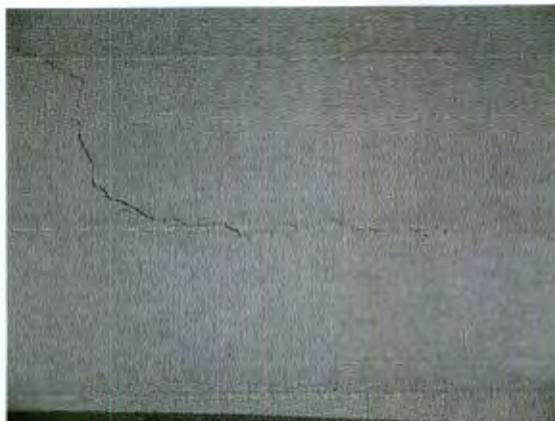


Lugar: En la parte superior del muro, arriba de la puerta.

Tipo de grieta: Horizontal y con un borde vertical al comienzo de la grieta con ancho constante.

Anchura: 2 mm.

Probable Causa: Movimiento relativo entre piezas y mortero generalmente asociado a cambios térmicos. Además de que es probable, que se deba a la contracción por secado debido al alto contenido de cemento que tiene el mortero empleado en juntas con un contenido de agua y cal menor.



Lugar: A un costado de la ventana.

Tipo de grieta: Vertical y horizontal con anchura constante.

Anchura: 7 mm.

Probable Causa: Diferentes niveles de absorción y expansión térmica al estar expuestos a mayores cambios climáticos que el muro en su parte inferior. Además de nula restricción en el plano.

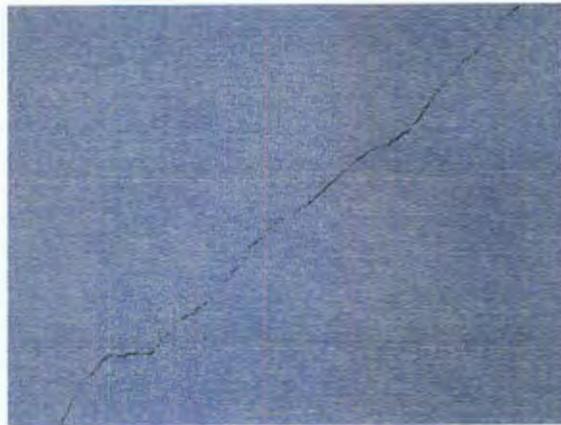


Lugar: Inclinada en la parte inferior del muro, siendo de anchura constante.

Tipo de grieta: Inclinada

Anchura: 2 mm.

Probable Causa: Asentamiento diferencial en un extremo, donde se origina la grieta.



Lugar: A un costado de la puerta teniendo fin en un extremo de la viga inferior.

Tipo de grieta: Escalonada, rompiendo el mortero y las piezas.

Anchura: 3 mm.

Probable Causa: Asentamiento diferencial en un extremo, donde se origina la grieta. El muro es obligado a bajar debido a la flexión de vigas superior e inferior.



Lugar: A un costado de la ventana.

Tipo de grieta: Vertical y horizontal con anchura constante.

Anchura: 3 mm.

Probable Causa: Diferentes niveles de absorción y expansión térmica al estar expuestos a mayores cambios climáticos que el muro en su parte inferior. Además de nula restricción en el plano.

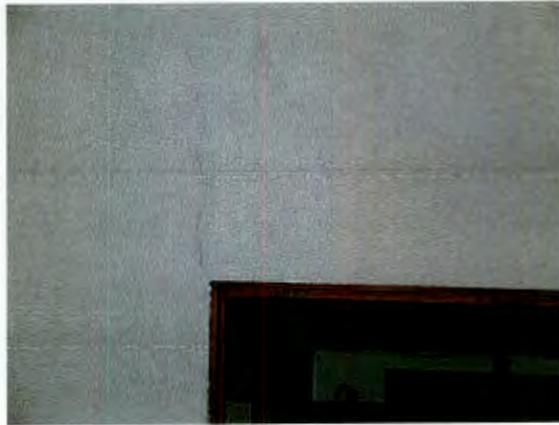


Lugar: En la parte superior de la ventana.

Tipo de grieta: Vertical de anchura constante.

Anchura: 2 mm

Probable Causa: Falta de confinamiento de la mampostería, además de posible flecha en la parte superior del muro.



Lugar: Del castillo a la esquina de una ventana.

Tipo de grieta: Inclinada con bordes escalonados.

Anchura: 3 mm

Probable Causa: Diferentes niveles de absorción y expansión térmica al estar expuestos a mayores cambios climáticos que el muro en su parte inferior. Además de nula restricción en el plano. Es probable que exista un asentamiento en el centro de la cimentación o levantamiento del suelo en los extremos del muro.



Lugar: Debajo de la ventana con inicio en uno de los extremos de la cimentación

Tipo de grieta: Inclinada de anchura constante.

Anchura: 4 mm.

Probable Causa: Asentamiento del centro de la cimentación (losa) o levantamiento del suelo en los extremos del muro.



Lugar: En el muro del castillo a un extremo inferior de la cimentación.

Tipo de grieta: Inclinada de anchura constante.

Anchura: 3 mm.

Probable Causa: Asentamiento del centro de la cimentación (losa) o levantamiento del suelo en los extremos del muro.



Lugar: En la parte inferior de la ventana.

Tipo de grieta: Vertical

Anchura: 2- 4 mm.

Probable Causa: Asentamiento de las esquinas de la cimentación o levantamiento del suelo en el centro del muro.



Lugar: Inclinada en la parte inferior del muro, siendo de anchura constante.

Tipo de grieta: Inclinada

Anchura: 4 mm.

Probable Causa: Asentamiento diferencial en un extremo, donde se origina la grieta.



Lugar: De la viga superior a la esquina de un vano.

Tipo de grieta: Inclinada y con bordes en forma de escalera.

Anchura: 6 mm

Probable Causa: Diferentes niveles de absorción y expansión térmica al estar expuestos a mayores cambios climáticos que el muro en su parte inferior. Además de nula restricción en el plano. Es probable que exista un asentamiento en el centro de la cimentación o levantamiento del suelo en los extremos del muro.



Lugar: De la viga superior a la esquina de un vano.

Tipo de grieta: Inclínada y paralela a otra grieta inclinada.

Anchura: 5 mm

Probable Causa: Diferentes niveles de absorción y expansión térmica al estar expuestos a mayores cambios climáticos que el muro en su parte inferior. Además de nula restricción en el plano. Es probable que exista un asentamiento en el centro de la cimentación o levantamiento del suelo en los extremos del muro.



6 MÉTODOS DE REPARACIÓN

Un gran número de viviendas en Querétaro se construyen de mampostería, tanto armada como confinada. Este tipo de viviendas presentan una cantidad importante de daños debido a diferentes factores como; asentamientos diferenciales de la cimentación, malos procesos constructivos, humedad, etc. En el estado de Querétaro las técnicas más utilizadas para reparación de grietas son los que a continuación se mencionan.

Métodos de reparación:

- ◆ Restauración por sustitución de materiales.
- ◆ Restauración por aplicación de materiales diferentes al dañado.
 - Inyecciones epóxicas.
 - Parcheo con morteros expansivos.
- ◆ Reforzamiento
 - Enchapado y refuerzo con doble malla de acero
 - Engrapado

A continuación se describirán de manera más detallada algunos de estos métodos de solución.

6.1 Inyección Epóxica

Se llama “resina epóxica” a una sustancia sólida orgánica sintética producida por polimerización.

Proceso de inyección epóxica:

- ◆ Limpieza de la grieta
- ◆ Sello superficial
- ◆ Aplicación del epóxico

Criterios de inyectabilidad de las grietas.

- ◆ Tamaño de la grieta: el ancho mínimo inyectable es 0.05 mm y el máximo recomendable es 6.35 mm.
- ◆ Tipo de Grieta: deben ser grietas muertas, es decir que la causa original del agrietamiento debe haber cesado.
- ◆ Estado del acero: el acero de refuerzo no debe estar deformado.
- ◆ Contaminación de la grieta: debe estar libre de polvo, grasa, aceites y cualquier otro tipo de producto contaminante.
- ◆ Temperatura de la grieta: debe considerarse esta limitante, tanto al momento de inyectar, como durante la vida de la estructura.

Principales problemas en los procesos de inyección epóxica.

- ◆ Problemas de dosificación de los componentes del producto. Un error mayor que el 5% en la dosificación puede significar que la resina no reaccione adecuadamente y se mantenga en un estado plástico o semiendurecido.
- ◆ Remover resina inyectada con defectos de endurecimiento es un problema que puede llevar hasta la demolición parcial del muro.
- ◆ Tiempo de endurecimiento. Cada formulación epóxica tiene su tiempo de fraguado específico para determinadas condiciones de temperatura.
Si el endurecimiento se produce antes de llenar completamente la grieta, se requiere de un proceso de re-inyección.
- ◆ Inyección en grietas sin control total de las caras del elemento

- ◆ Incendio. Cada resina tiene su límite de temperatura que generalmente se expresa con el resultado de la prueba Heat Deflection Temperature (HDT), que es una medida indirecta del límite térmico después del cual las resinas pierden todas sus propiedades mecánicas.

Conviene que las inyecciones epóxicas sean protegidas por repellos o cualquier otro tipo de acabado.

6.2 Parcheo con mortero expansivo

En estos procesos se utilizan morteros expansivos, que son formulaciones que incluyen, además de la resina y el catalizador, un tercer componente que es el agregado fino.

Su aplicación es manual, con pistola de calafateo o con bomba dosificadora.

Pueden utilizarse también productos cementados no contráctiles para realizar el parcheo estructural.

Este método es aplicable a paredes de bloques de concreto y de ladrillo de barro.

Parcheo estructural en paredes de ladrillo sólido.

- ◆ Se realiza un corte en "v" siguiendo la trayectoria de la grieta a reparar.
- ◆ Se rellena con el producto epóxico o cementico (no retráctil).
- ◆ Se aplica acabado exterior.
- ◆ Se deben revisar agrietamientos en las nervaduras.

Reparación de grietas en paredes.

- ◆ Inyección de lechada.
- ◆ Inyección de resina epóxica tipo gel.
- ◆ Resane estructural

- Mortero epóxico
- Mortero cementico con aditivo no retráctil.
- ◆ Sello superficial.

6.3 Enchapado y refuerzo con doble malla

El enchapado con refuerzo consiste en colocar una doble malla de acero (generalmente metal desplegado o malla electrosoldada) por ambas caras del muro, las que posteriormente se recubren con mortero, idealmente proyectado. En la Figura 29 se muestra en forma esquemática la colocación de la doble malla.

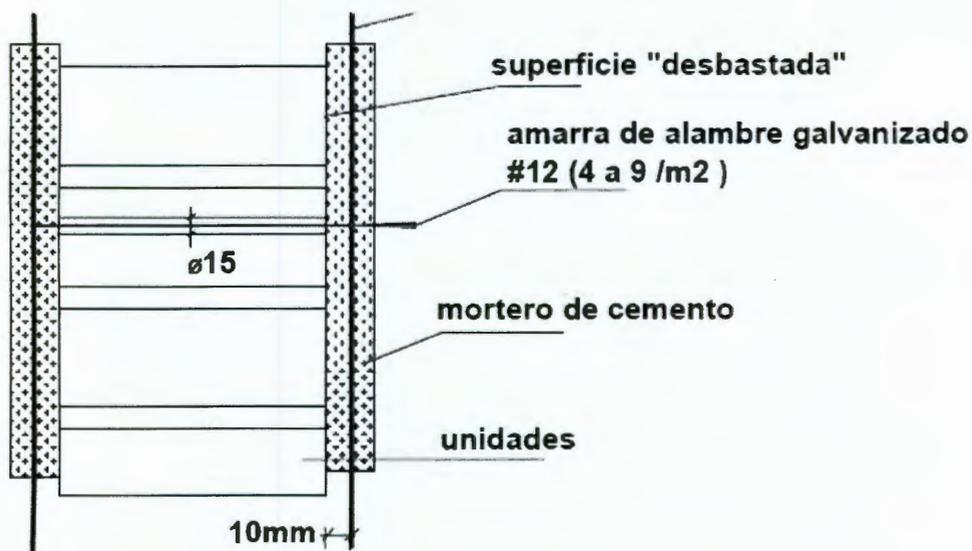


Figura 29. Forma de fijar la malla de refuerzo en un enchape (Lüders, Carl 1990)

“En las Figuras 3.3, 3.4 y 3.5 se muestran los muros 3 y 4 reparados con el sistema de doble malla (ACMA C139) y shotcrete y su implementación en el laboratorio. La diferencia fundamental entre ambas reparaciones fue la cantidad de anclajes a la viga de fundación. En el muro 3 se colocaron 5 anclajes por cara, mientras que en muro 4 se dispusieron 10 anclajes por

cara. La distancia entre la malla de refuerzo y el muro se fijó en 1 cm. mediante trozos de barra de acero de 10 mm. El mortero proyectado se colocó en 3 capas sucesivas de 1 cm. de espesor. Entre una capa y la siguiente se dejaron 24 horas para el fraguado. La dosificación en volumen del mortero fue de 1:3:1 (cemento: arena: agua). El promedio de resistencia a compresión del mortero fue de 53 Kg./cm². Para el ensayo de los muros se esperó entre 5 y 7 días con el correspondiente curado de las superficies.”¹²



***Figura 30.** Muro No. 4 con malla ACMA instalada

¹² *Artículo “Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas, 16 -19 de Noviembre de 2005, Concepción Chile”



***Figura 31.** Aplicación de mortero proyectado.



***Figura 32.** Muro No. 3 con instrumentos instalados para ensayo.

6.4 Engrapado

El engrapado corresponde a una verdadera costura de la grieta por medio de insertos de acero en forma de grapas tal como se muestra esquemáticamente en las Figuras 33 y 34.

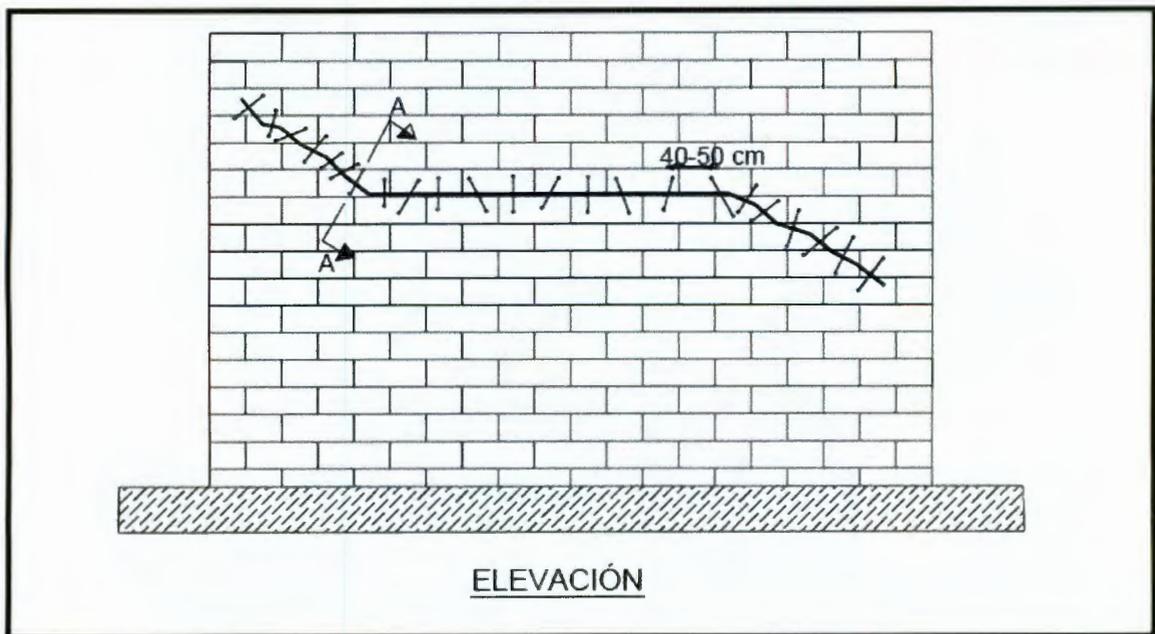


Figura 33. Engrapado de la grieta (Lüders, Carl 1990)

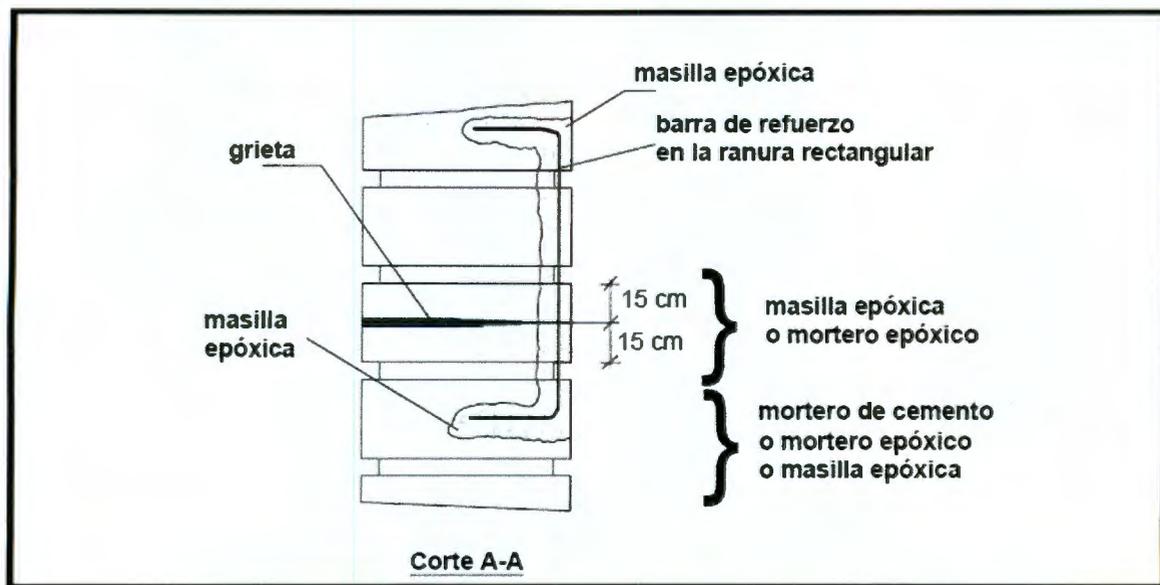


Figura 34. Detalle de la grapa (Lüders, Carl 1990)

En las figuras 35 y 36 se muestran en forma esquemática la reparación de los muros 1 y 2 con el sistema de engrapado. Se muestran ambas caras de los muros. En el muro 1 se colocaron 12 grapas y en el muro 2 13 grapas por cada cara. Cinco de las grapas correspondieron a anclajes a la trabe de liga.

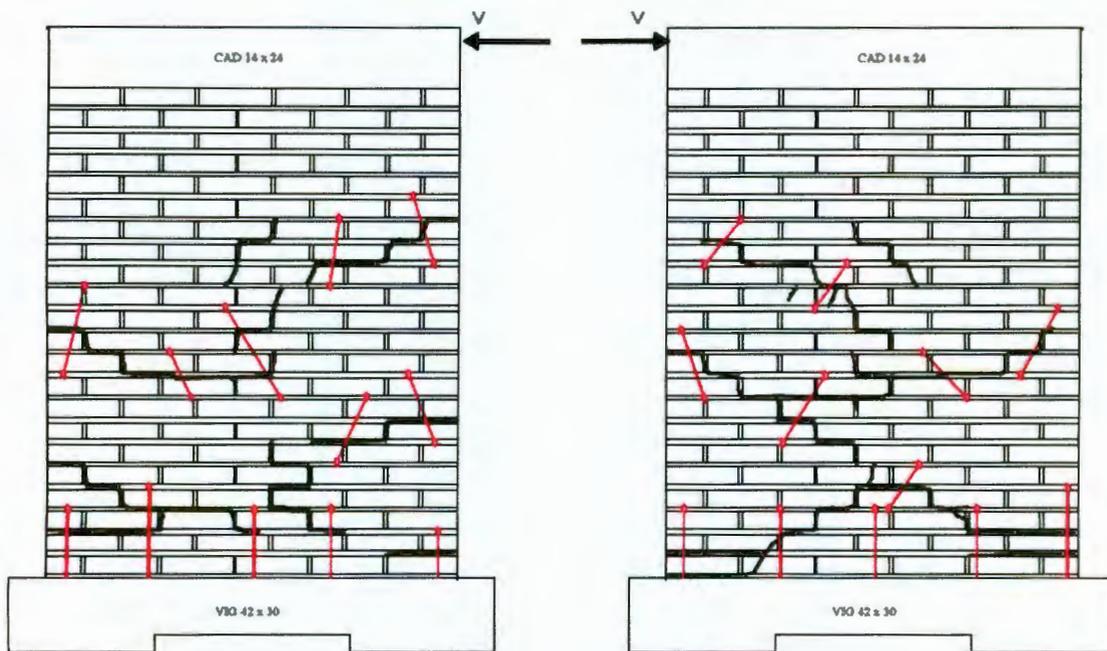


Figura 35. Reparación Muro N°1

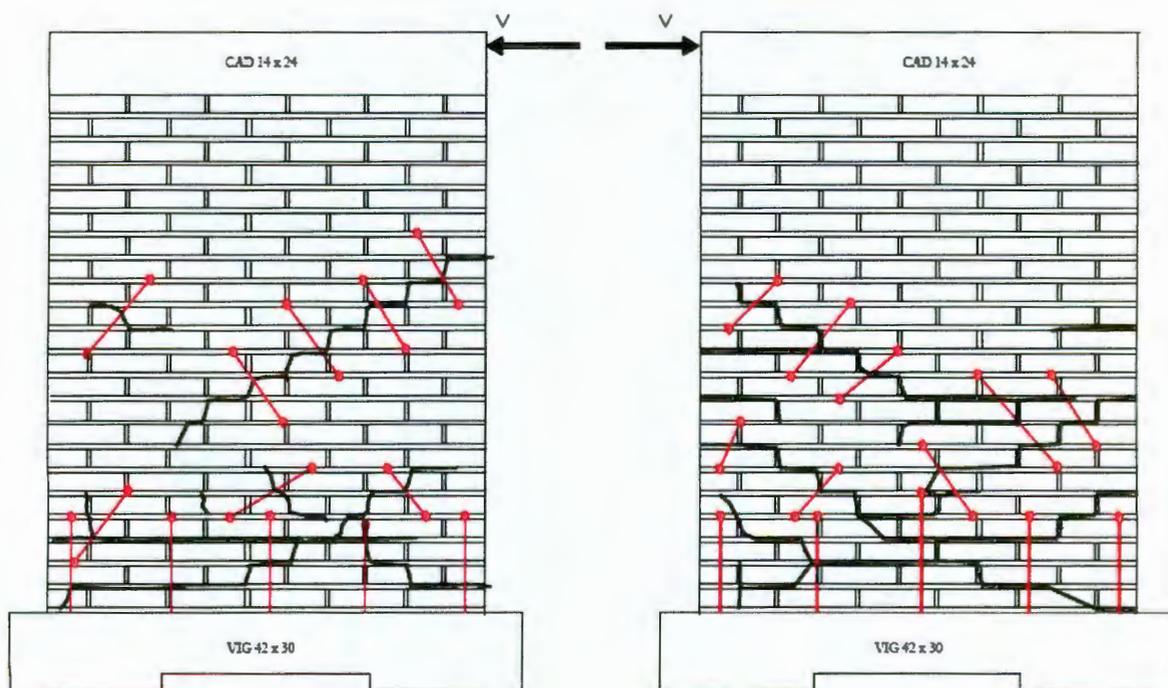


Figura 36. Reparación Muro N°2

Los corchetes se deben fabricar con acero del No. 3. Estos corchetes tienen forma de C, con puntas dobladas de longitud aproximada 4 cms. y longitud

del lado largo variable de acuerdo a la grieta a coser. Las perforaciones se deben realizar en la junta del mortero. Los corchetes de anclaje (con forma de L) deben evitar anclar el lado corto de la L en una misma hilada. La profundidad de anclaje en la trabe de liga fue de 15 cm. En todos los casos se debe utilizar un adhesivo epóxico.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda que los materiales a utilizar en la construcción con mampostería deban de cumplir con los controles de calidad requeridos dentro del proyecto.

El tabique rojo recocido es un material muy utilizado en México por lo tanto es necesario que se elabore mediante un proceso más estandarizado, para mejorar la calidad en el producto, y reducir la cantidad de contaminantes.

Se recomienda que los procesos constructivos dentro de la obra sean supervisados, ya que en muchos casos se utilizan prácticas rudimentarias que provocan con el tiempo problemas de agrietamiento.

Se concluye que se deben utilizar columnas y trabes de confinamiento en puertas y ventanas, con el objeto de evitar agrietamientos en las esquinas.

Se concluye que en las ranuras generadas por las instalaciones eléctricas, sanitarias y de agua potable; se deben reforzar con metal desplegado para evitar que se generen juntas que provoquen agrietamiento en el mortero.

Se recomienda que el mortero tenga la proporción necesaria de cada uno de sus elementos para que la mezcla cumpla con las características necesarias, y así evitar las grietas escalonadas que rompen el mortero.

Se recomienda que los muros estén completamente ligados a los castillos y dalas de cerramiento, con el fin de que no se generen grietas horizontales y verticales entre el concreto y la mampostería.

Se recomienda que el desplante de la cimentación sea por debajo de la capa activa (aproximadamente 1.5 m., en la ciudad de Querétaro) ó que se retire esta capa y se mejore el suelo para evitar posibles expansiones y contracciones, con el fin de contrarrestar las grietas originadas por los asentamientos que se producen en los costados o en el centro de la edificación.

Se recomienda considerar en el diseño estructural posibles ampliaciones en las viviendas de interés social, ya que en muchos casos son la causa de las grietas.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bárbara Zetina Fernando., "Materiales y Procedimientos de Construcción", Editorial Herrero S.A., 8ª edición, México DF., 1982.

Roberto Meli., "Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos", Fundación ICA, 1ra edición, México DF., 1998.

De Solminihac Hernán., "Procesos y Técnicas de Construcción", Editorial Alfaomega, 2da. Edición. México DF., 2002.

Ivor H. Seeley., "Tecnología de la Construcción", Limusa Noriega Editores, 1ª Edición, México DF. 1993.

Askeland Donald R., Ciencia e Ingeniería de los materiales, México, Thompson, 1998.

Edificaciones de mampostería para vivienda. México, Edit. Fundación ICA 2001.

Patologías en Mampostería de Cerámica Roja, Ficha técnica No. 3, España, Cámara Industrial de Cerámica Roja (CICER).

Artículo "Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas, 16 -19 de Noviembre de 2005, Concepción Chile"

Edificaciones de mampostería para vivienda, Fundación ICA A.C. Tercera edición, México D.F, 2002.

Normas Técnicas Complementarias Del Distrito Federal para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, 2004.

COMEVI, Castro O., 1998

<http://www.imcyc.com/ct2007/nov07/ingenieria1.htm>