



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ARAGÓN"**

**CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE  
ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA PARA LA  
VIVIENDA**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**I N G E N I E R O C I V I L**  
P R E S E N T A:  
**GABRIEL ALARCÓN ESTÉVEZ**

**ASESOR: M. en I. DANIEL VELÁZQUEZ VÁZQUEZ**

**MÉXICO**

**2005.**

m. 344398



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
SISTEMA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN

DIRECCIÓN

GABRIEL ALARCON ESTEVEZ

Presente

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:

"CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA PARA LA VIVIENDA"

ASESOR: M. en I. DANIEL VELÁZQUEZ VAZQUEZ

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México, 20 de enero de 2005.

LA DIRECTORA

*L. Turcott*

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



C p Secretaría Académica  
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil  
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR/a

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN  
 JEFATURA DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
 MISION U.N.A.M.

SECRETARIA ACADÉMICA

13 FEB 2005

RECIBIDO



LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS  
 JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA  
 PRESENTE

San Juan de Aragón, Estado de México, a 10 de FEBRERO de 2005

Por este conducto, me permito informarle que el (la) alumno(a) de la Carrera de Ingeniería Civil.

ALARCON	ESTEVEZ	GABRIEL	No. de Cuenta: 40000031 8
APELLIDO PATERNO	APELLIDO MATERNO	NOMBRE(S)	

Ha concluido su trabajo de tesis denominado:

CONSTRUCCION Y REHABILITACION DE  
 ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA PARA LA  
 VIVIENDA

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el Examen Profesional correspondiente.

Por lo que le solicito, tenga a bien autorizar, la continuación de los trámites para su titulación.

Sin mas por el momento, agradezco de antemano su amable atención y quedo a sus apreciables órdenes.

<p>ATENTAMENTE</p>  <p>M. en I. DANIEL VELÁZQUEZ VAZQUEZ                  Director de Tesis</p>	 <p>Ing. Martín Ortiz León                  Jefe de Carrera de Ingeniería Civil</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- ccp - Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez - Jefa del Departamento de Servicios Escolares.
- ccp - Ing. Martín Ortiz León - Jefe de Carrera de Ingeniería Civil.
- ccp - Ing. Karla Ivonne Gutiérrez Vázquez - Secretaria Técnica de Ingeniería Civil.
- ccp - Asesor de Tesis
- ccp - Interesado.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN  
JEFATURA DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS  
JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA  
P R E S E N T E

San Juan de Aragón, Estado de México, a 10 de FEBRERO de 2005

Por este conducto, me permito informarle que el (la) alumno(a) de la Carrera de Ingeniería Civil.

ALARCON	ESTEVEZ	GABRIEL	No. de Cuenta: 4000031 8
APELLIDO PATERNO	APELLIDO MATERNO	NOMBRE(S)	

Ha concluido su trabajo de tesis denominado:

CONSTRUCCION Y REHABILITACION DE  
ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA PARA LA  
VIVIENDA

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el Examen Profesional correspondiente.

Por lo que le solicito, tenga a bien autorizar, la continuación de los trámites para su titulación.

Sin mas por el momento, agradezco de antemano su amable atención y quedo a sus apreciables órdenes.

ATENTAMENTE  M. en I. DANIEL VELAZQUEZ VAZQUEZ Director de Tesis	 Ing. Martín Ortiz León Jefe de Carrera de Ingeniería Civil
---------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------

- c.c.p. Lic. Ma. Teresa Lora Sánchez - Jefa del Departamento de Servicios Escolares.
- c.c.p. Ing. Martín Ortiz León - Jefe de Carrera de Ingeniería Civil.
- c.c.p. Ing. Karla Ivonne Gutiérrez Vázquez - Secretaría Técnica de Ingeniería Civil.
- c.c.p. Asesor de Tesis
- c.c.p. Interesado



VERDAD NACIONAL  
AVANZADA DE  
MEXICO

# ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

DIRECCIÓN

GABRIEL ALARCON ESTEVEZ

Presente

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:

"CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA PARA LA VIVIENDA"

ASESOR: M. en I. DANIEL VELÁZQUEZ VAZQUEZ

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México, 20 de enero de 2005.

LA DIRECTORA

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ

C p Secretaría Académica  
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil  
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR/asn



## SEGUIMIENTO DE REGISTRO DE TESIS

FECHA	CVE.	DESCRIPCIÓN DEL TRÁMITE	
18/04/2005	IMP	"CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA PARA LA VIVIENDA"	
			Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS SECRETARIO ACADÉMICO
			Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS SECRETARIO ACADÉMICO
			Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS SECRETARIO ACADÉMICO
			Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS SECRETARIO ACADÉMICO
			Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS SECRETARIO ACADÉMICO

TRÁMITE	CLAVE
PRÓRROGA	PR.
CAM. TÍTULO	C. T.
CAM. ASESOR	C. A.
CAM. SEM.	C. S.
VIGENCIA	VIG.
IMPRESIÓN	IMP.

## ROSTRO DE VOS

Tengo una soledad  
tan concarriada  
tan llena de nostalgias  
y de rostros de vos  
de adioses hace tiempo  
y besos bienvenidos  
de primeras de cambio  
y de ultimo vagón.

Tengo una soledad  
tan concarriada  
que puedo organizarla  
como una procesión  
por colores  
tan años  
y promesas  
por época  
por tacto  
y por sabor.

Sin temblor de más  
me abrazo a tus ausencias  
que asisten y me asisten  
con mi rostro de vos.

Estoy lleno de sombras  
de noches y deseos  
de risas y de alguna  
maldición.

Mis háispadas concurren  
concurran como sueños  
con sus rancores nuevos  
en falta de andar  
yo los pongo en escoba  
tras la puerta  
porque quiero estar solo  
con mi rostro de vos.

Pero el rostro de vos  
mira a otra parte  
con sus ojos de amor  
que ya no aman  
como niños  
que buscan su hambre  
mirar y mirar  
y apagar mi jornada.

Las paredes se van  
queda la noche  
las nostalgias se van  
no queda nada.

Ya mi rostro de vos  
cierra los ojos  
y es una soledad  
tan desolada.

Mario Benedetti

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A LA SEÑORA RITA ESTÉVEZ GONZÁLEZ**

A ti, mamá, por la entrega y todos los sacrificios que has tenido que hacer por el hecho de lograr este objetivo tan tuyo como mío: el llegar a esta meta como estudiante. Por tu amor y tu forma de ser, por toda la confianza que me has dado, por tu templanza y sobriedad que me impidieron desanimarme o dejar inconcluso el camino que hoy termina, por tu abnegación y dedicación que has tenido para conmigo, por todas esas noches que has tenido sin dormir y por los cuidados que me han protegido aun antes de nacer. Por el impulso que siempre me diste y porque también le has enseñado a tu familia a estar juntos en las buenas y en las malas. Te doy las gracias a ti mamá porque con tigo conocí la dignidad del que trabaja para ver crecer los suyos, del que se esfuerza por superar su condición aún a pesar de cruzar tiempos de infortunios, por que con tigo aprendí a no dejar caer los párpados pesados como juicios y a no quedarme inmóvil al borde del camino, por todo eso y un millón de cosas más... ¡GRACIAS!

### **A MIS HERMANAS**

Por el apoyo que incondicionalmente nos han brindado a mamá y a mí, por todo el respeto y cariño que me han dado, por que siempre han estado ahí y por el hecho de saber que siempre he contado con cada una de ustedes.

### **A MIS CUÑADOS Y SUS FAMILIAS**

Porque con ustedes he sentido que soy un integrante más de sus familias, y porque se me ha tratado como a un hermano o un amigo.

### **A LA TODOS LOS INTEGRANTES DE LA FAMILIA ESTÉVEZ GONZÁLEZ**

Sería injusto nombrar a alguno de ustedes en especial, porque sin querer podría olvidarme de alguien, y como de cada uno de ustedes he recibido más que palabras de amor, aliento y consejos personales en distintos acontecimientos de mi vida, les doy las gracias.

### **A LA UNAM CAMPUS ARAGON**

Por darnos la oportunidad de estudiar en ella y prepararnos como profesionistas

### **A MIS PROFESORES**

Por compartir su tiempo, conocimiento y experiencias, por mostrar interés individual por sus alumnos e inculcar en nosotros ética profesional y dar formación personal.

### **A EL MAESTRO EN INGENIERÍA DANIEL VELAZQUEZ VAZQUEZ**

Por su ayuda, su buena disposición y tiempo que dedico para que este trabajo se realizara de manera correcta.

### **A LOS MIEMBROS DEL SÍNODO**

Ing. Pascual García Cuevas

Ing. Gustavo Adolfo Jiménez Villegas

Ing. Karla Ivonne Gutiérrez Vázquez

Ing. Ricardo Heras Cruz

Por la ayuda brindada aún en circunstancias difíciles de la escuela y la disponibilidad que han mostrado para poder obtener el título de Ingeniero Civil.

### **A MIS AMIGOS "LOS CHARMINES"**

Alfredo Francisco Salazar Bravo, Gabriel Arturo Jacinto Garay, Francisco Silvino Salinas Mariscal, Juan Alfonso González Sakaguchi, José Antonio Mendoza Salmorán, Áurea Belinda Cruz Aparicio, Hugo Alberto Gutiérrez Serrano, Víctor Edgar Ochoa Jiménez e Israel Ortiz López. Por el tiempo, experiencias y vivencias compartidas, por su amistad y por haber compartido juntos el logro de esta meta y por su ayuda que me brindaron durante ella.

## DEDICATORIAS

**DEDICADO A LA MEMORIA DE LOS QUE FUERON HACE TIEMPO Y QUIENES ME ENSEÑARON QUE LA MEJOR INVERSIÓN DE UN HOMBRE ES EL TIEMPO EMPLEADO EN EL FOMENTO DE LA AMISTAD, EL AMOR Y LA INTEGRACIÓN DE LA FAMILIA.**

### **A TI MAMÁ**

Por confiar en mí pese a todas las dificultades que has tenido que pasar, porque me has apoyado aún en las condiciones más críticas y has estado conmigo en mis triunfos y fracasos, por soportar y entender mis malos ratos y enseñarme que todo depende del carácter y las ganas de vivir.

### **A MI HERMANA LIDIA ALARCÓN ESTÉVEZ**

Porque con tu serenidad y templanza me has enseñado a controlar mi carácter y con ello encontrar la calma necesaria para no precipitarme en la toma de cada una de mis decisiones personales.

### **A MI HERMANA ROSSI ALARCÓN ESTÉVEZ**

Porque con tu sencillez y tu alegría de vivir he aprendido que con una sonrisa y un saludo desinteresado se pueden romper barreras tan duras y marcadas y como consecuencia de esta actitud se abran muchas puertas que parecieran estar cerradas.

### **A MI HERMANA IRAIS ALARCÓN ESTÉVEZ**

Porque con tu carácter tan beligerante he aprendido a no bajar nunca los brazos y a no quedarme jamás sin labios. Porque me has dado una de las lecciones más importantes de mi vida "*¡Si te dan, agarras! ¡Si te quitan, gritas!*".

### **A MIS CUÑADOS**

Gregorio Ramírez Camaño  
Rafael Estaban Ovin Villarruel  
Wilfredo Robledo Hernández

Por incluirnos a mi madre y a mí en cada una de sus familias, por compartir con nosotros tanto alegrías y sinsabores, por apoyarme económica y moralmente y por la amistad que me han profesado desde el día que me conocieron.

### **A TI GABRIELA**

Porque con tigo he dejado de utilizar las trincheras y de ponerme pecho a tierra bajo el paso de una historia. Ahora que estas a mi lado te doy las gracias por la confianza que me tienes y por entender mis locuras.

# **CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA PARA LA VIVIENDA**



**GABRIEL ALARCÓN ESTÉVEZ**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO**



## ÍNDICE

ÍNDICE.....	II
INTRODUCCIÓN.....	V
OBJETIVOS.....	V
<b>CAPÍTULO 1 HISTORIA DEL DESARROLLO DE LA MAMPOSTERÍA.....</b>	<b>1</b>
INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. PREHISTORIA.....	2
1.2. INICIO DE LA HISTORIA: SUMERIA.....	3
1.3. CULTURAS ANTIGUAS DE MÉXICO.....	4
1.4. EGIPTO Y GRECIA.....	5
1.5. ROMA.....	6
1.6. DEL SIGLO V AL SIGLO XIX.....	8
1.7. MAMPOSTERÍA REFORZADA.....	10
1.8. NOTAS FINALES.....	11
<b>CAPÍTULO 2 PORQUE SE DAÑAN LAS ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.....</b>	<b>13</b>
INTRODUCCIÓN.....	14
2.1. VIENTO.....	15
2.2. SISMO.....	16
2.3. VULCANISMO.....	17
2.4. INUNDACIONES.....	18
2.5. HUNDIMIENTOS.....	19
2.6. DESLIZAMIENTO DE TIERRAS.....	19
2.7. EROSIÓN.....	20
2.8. OTRAS CAUSAS.....	21



## **CAPÍTULO 3 TIPOS DE MUROS..... 22**

### **INTRODUCCIÓN..... 23**

3.1.	MUROS DIAFRAGMA.....	23
3.2.	MUROS CONFINADOS.....	26
3.3.	MUROS REFORZADOS INTERIORMENTE.....	31
3.4.	MAMPOSTERÍA NO CONFINADA NI REFORZADA.....	43
3.5.	MAMPOSTERÍA DE PIEDRAS NATURALES.....	46
3.6.	MUROS DE CONTENCIÓN.....	49
3.7.	OTROS.....	49

## **CAPÍTULO 4 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS EN LA VIVIENDA DE MAMPOSTERÍA..... 50**

### **INTRODUCCIÓN..... 51**

4.1.	CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN.....	51
4.2.	CONSTRUCCIÓN DE FIRMES.....	52
4.3.	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LOS MATERIALES.....	53
4.4.	TRATAMIENTO DE LA SUCCIÓN DE LAS PIEZAS.....	53
4.5.	ESPESOR DE LAS HILADAS Y ACABADO DE LAS JUNTAS.....	54
4.6.	FABRICACIÓN DEL MORTERO EN OBRAS PEQUEÑAS Y EN OBRAS GRANDES.....	55
4.7.	CONSTRUCCIÓN DE LA MAMPOSTERÍA.....	57
4.8.	RITMO DE LA CONSTRUCCIÓN.....	66
4.9.	CUIDADO DE LOS MUROS DURANTE SU CONSTRUCCIÓN.....	66
4.10.	COLOCACIÓN DE INSTALACIONES (HIDROSANITARAS, GAS, ELÉCTRICAS, TELEFÓNICAS, ETC.).....	67
4.11.	ARMADO DE DALAS Y CASTILLOS Y ANCLAJE DE ARMADO EN MUROS REFORZADOS EN SU INTERIOR.....	68
4.12.	IMPERMEABILIZACIÓN DE MUROS Y MANTENIMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA.....	69
4.13.	ERRORES COMUNES QUE PUEDEN EVITARSE.....	70
4.14.	ASPECTOS IMPORTANTES DEL SUPERVISOR DE VIVIENDA.....	70



<b>CAPÍTULO 5 REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.....</b>	<b>72</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>73</b>
5.1. PRINCIPIOS BÁSICOS PARA UN COMPORTAMIENTO ADECUADO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.....	73
5.2. COMPORTAMIENTO OBSERVADO EN EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA.....	75
5.3. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA EXISTENTES.....	77
5.4. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN Y ENSAYES EN EL SITIO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA.....	89
5.5. TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN.....	91
5.6. CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.....	110
5.7. RECIMENTACIONES Y RENIVELACIONES.....	115
5.8. MAMPOSTERÍA DE ADOBE.....	115
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>128</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>130</b>



## INTRODUCCIÓN

Históricamente en nuestro país, al igual que gran parte de los países en vías de desarrollo, se observan constantemente daños en las edificaciones, ante la incidencia de eventos naturales. Dentro de las edificaciones mayormente afectadas se encuentran las viviendas de bajo costo, la mayoría de las cuales es de autoconstrucción y en ellas se emplean materiales de baja calidad, es decir, materiales que pueden denominarse como de características "precarias".

En México más del 90% de las viviendas, ya sea unifamiliar o multifamiliar se construye a base de muros de carga de mampostería. Esto hace que la edificación de la vivienda a base de este sistema estructural represente un poco más del 50% del volumen total de la construcción que se hacen en nuestro país; con esto podemos darnos cuenta de que la mampostería está fuertemente arraigada a la cultura nacional y es objeto de una gran aceptación, especialmente para la vivienda. De hecho es esta preferencia la que ha frenado el cambio hacia otras técnicas de construcción más modernas y en algunos aspectos más eficientes y más factibles de un proceso industrializado de construcción.

Aunque en nuestro país se han realizado investigaciones referentes a la mampostería de muy alta calidad originando con esto que actualmente sea posible diseñar y construir estructuras de mampostería que tengan un excelente desempeño estructural, con la fabricación de piezas industrializadas de buena calidad y con las especificaciones derivadas de dichas investigaciones, existen muchas de las viviendas las cuales se siguen construyendo sin los sistemas constructivos y los detalles adecuados, originando con esto que dichas edificaciones sean altamente susceptibles a deterioros que afectan su estética, su funcionalidad, o lo más grave, su seguridad estructural lo cual puede poner en riesgo nuestras pertenencias o nuestra vida y de nuestra familia.

## OBJETIVOS

En este trabajo se pretende hacer una exposición sobre la vivienda construida con base en la mampostería que generalmente es de autoconstrucción de uno o dos niveles con geometría sencilla y regular.

El objetivo de este trabajo es proporcionar una serie de recomendaciones y lineamientos para lograr procedimientos de autoconstrucción razonablemente lógicos y seguros, tratando de proponer algunas recomendaciones prácticas para lograr reducir el nivel de densidad de daño que generan los fenómenos geológicos e hidrometeorológicos en las construcciones, especialmente en viviendas de bajo costo.



Por lo anterior, en el capítulo 1 se hace alusión, de manera muy superficial a la historia del desarrollo de la mampostería, desde la prehistoria, hasta la época actual mostrando la evolución que han tenido las edificaciones de mampostería a través del tiempo.

El capítulo 2 hace una descripción de el por que se dañan las estructuras de mampostería y en la evaluación del riesgo según la ubicación de cada vivienda.

En el capítulo 3 únicamente se señalan los tipos de muros y se presentan algunas recomendaciones prácticas para su construcción, así como algunos de sus lineamientos de construcción.

El capítulo 4 describe de manera muy breve algunos aspectos constructivos que requieren ser considerados en forma detallada para la ejecución de una vivienda que se construirá o que este construida a base de mampostería.

En el capítulo 5 se presenta en forma breve los principios básicos que deben seguirse para lograr un comportamiento adecuado de las estructuras, para después describir los principales tipos de daño observado en estructuras de mampostería. Enseguida se esbozara el contenido y el proceso de una evaluación estructural, y únicamente se mencionaran algunas de las técnicas de evaluación sin identificar si son destructivas, no destructivas o semidestructivas. Se discutirán las técnicas de rehabilitación de las estructuras de mampostería, haciendo énfasis en presentar las ventajas y desventajas de cada una de ellas, así como algunas recomendaciones para su construcción. Se tratará el tema de corrosión del acero de refuerzo como uno de los problemas más serios de durabilidad de las construcciones. Se esbozaran solo algunos de los criterios para recimentar y renivelar estructuras de mampostería para viviendas populares. Finalmente se discutirá el comportamiento y daños observados en estructuras de adobe, y se presentaran diferentes técnicas para su rehabilitación. Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

# **CAPÍTULO 1**

## **HISTORIA DEL DESARROLLO DE LA MAMPOSTERÍA**



## INTRODUCCIÓN

La historia de La humanidad va de La mano con su necesidad de tener un lugar en donde protegerse de las inclemencias del tiempo y las adversidades de la naturaleza. Desde épocas remotas el hombre ha buscado para ello, materiales accesibles que sean fáciles de utilizar y que proporcionen la mayor comodidad.

Los tipos de materiales utilizados por las culturas de la antigüedad fueron determinados por las condiciones del terreno en donde se asentaron.

### 1.1. PREHISTORIA

Es probable que la mampostería haya sido “inventada” o descubierta por un nómada, hace unos 15000 años. Cuando al no encontrar un refugio natural para protegerse de las inclemencias de la naturaleza, decidió apilar piedras para formar un lugar donde protegerse. Sin embargo como la transmisión de técnicas o ideas era muy lenta o no ocurría, la “invención” o mejor dicho descubrimiento, seguramente tuvo que repetirse en innumerables ocasiones.

El proceso inmediato en el desarrollo de la mampostería debió ser la utilización del mortero de barro, el cual permitió no solo apilar, sino acomodar o asentar con más facilidad, y a mayor altura, las piedras irregulares naturales. Este paso se dio, seguramente, cuando se comenzaron a integrar las primeras aldeas. Existen varios vestigios de poblados prehistóricos construidos con piedras asentadas con barro desde las islas Aran, en Irlanda, hasta Catal Hüyük, en Anatolia; también, el mismo sistema constructivo, fue empleado en otro lugar distante y unos 10000 años después, por los incas en Ollantaytambo cerca del Cusco, donde quedan construcciones importantes, con muros de piedra natural asentada con mortero de barro y techos de rollizos de madera cubiertos con una gruesa capa de paja.



Figura 1.1. OLLANTAYTAMBO. CUSCO, PERÚ (SIGLO XIV). LOS MUROS SON DE PIEDRA Y HAN SIDO ASENTADOS CON BARRO Y RECUBIERTOS LUEGO CON ENLUCIDO DE BARRO.

La unidad de mampostería fabricada por el hombre a partir de una masa de barro secada al sol, para sustituir a la piedra natural, debió ocurrir en lugares donde esta última no podía encontrarse. El vestigio más antiguo se encontró realizando excavaciones arqueológicas en Jericó, en el Medio Oriente. La unidad de



barro tiene la forma de un gran pan, fabricada a mano y secada al sol; su peso es de unos 15Kg. y en ellas aún se encuentran las huellas del hombre que la elaboró. Las unidades de barro formadas a mano se han encontrado en diversas formas y no siempre muy lógicas. La forma cónica es de interés, pues se repite y esta presente en lugares distantes, sin conexión directa y en momentos de desarrollo semejantes; estas unidades se encuentran en muros construidos en Mesopotámica, con una antigüedad de 7000 años, y en la zona de la costa norte del Perú, en Hueca Prieta, con una antigüedad de 5000 años.

## 1.2. INICIO DE LA HISTORIA: SUMERIA

Las unidades de barro formadas a mano y secadas al sol al igual que el mortero de barro constituyen el estado del arte en la construcción con mampostería en el inicio de la historia. En el cuarto milenio a. C. los sumerios, considerados como iniciadores de la civilización y de la ingeniería, inventaron la ciudad, la irrigación, la escritura, los números, la rueda y el molde. Este último constituido por un marco de madera elemental y rústico que aún se emplea en algunos países, especialmente en zonas rurales. El molde es un avance sustantivo en la construcción de mampostería y en otras actividades, pues posibilita la producción rápida de unidades prácticamente iguales.

Aquella masa de barro mezclada con paja a la cual se daba la forma de paralelepípedo recto colocándola a presión dentro de un molde de madera, para luego dejarla secar al sol, hizo posible la libertad de construcción y la arquitectura monumental. El adobe puso en manos del hombre un medio de expresión con libertad, escogiendo la manera de colocar y juntar adobes en donde la construcción podría hacerse en una escala monumental. Como tal, la obra ya no es una creación individual, sino esencialmente, el producto colectivo de muchos participantes.

Las primeras construcciones de adobe siguieron estrechamente la forma de las estructuras a las que obligaban los antiguos materiales. Al copiar en mampostería la bóveda en forma de túnel de las chozas practicadas en los cañaverales, algún sumerio construyó el falso arco y luego encontró el principio del verdadero. De este modo se aplicaron leyes mecánicas de resistencias y empujes muchos milenios antes de que estas leyes llegaran a ser formuladas.

El primer templo en forma sumeria fue edificado en la ciudad de Uruk (2900 a.C.). En las excavaciones arqueológicas practicadas allí aparecen los cimientos de construcciones verdaderamente monumentales, una colina artificial y el prototipo del zigurat o torre escalonada el cual era indispensable en un templo sumerio. Este primer zigurat está enteramente construido con adobes unidos con capas de betún.



El adobe fue llevado al horno a principios del tercer milenio antes de Cristo, para hacer ladrillos cerámicos. Para la construcción de la mampostería el ladrillo era asentado con mortero de betún o alquitrán, (sustancia abundante en el suelo del Medio Oriente) al cual se añadía arena. Esta mampostería se convirtió entonces en el material fundamental de las construcciones más importantes y posibilitó alturas crecientes de los zigurats. El de la ciudad de Ur (2125 a.C.), con una base de 62m. por 43m. y una altura de 21m., tenía un núcleo de adobe y un forro de mampostería de 2.4m. de espesor, hecho de ladrillos cerámicos asentado con mortero de betún, en el que se incorporó tejido de caña. El aspecto de estos zigurats debió ser espectacular. El Génesis relata la historia de uno de ellos, conocido como la torre de Babel.

En Babilonia los ladrillos cerámicos tenían inscripciones en bajo relieve que relataban la construcción de la obra y nombraban a sus autores, en las obras más suntuosas estos ladrillos eran esmaltados, formando un alto relieve y en colores, el león, el toro y el dragón, que actuaban de guardias y protectores. En construcciones elevadas donde ocurrían grandes esfuerzos, el mortero era reforzado con fibras de caña, lo que procuraba a la mampostería una considerable resistencia a la tensión.



Figura 1.2. BABILONIA (PRIMER MILENIO ANTES DE CRISTO). MURO DE UNIDADES DE ARCILLA DECORATIVAS: ESMALTADAS Y VITRIFICADAS.

### 1.3. CULTURAS ANTIGUAS DE MÉXICO

Paralelamente a otras grandes culturas en el mundo, las culturas antiguas de México crearon estructuras imponentes utilizando mampostería de piedras naturales o artificiales, dando muestra del desarrollo alcanzado en técnicas constructivas.

En general, la arquitectura mesoamericana es de piedra, con frecuencia bellamente cortada y adornada con relieves. Además de la piedra, fue de uso frecuente el estuco para revestir fachadas y muros interiores. Es muy rara la aparición del ladrillo, pero en cambio, muy frecuente el uso del adobe.

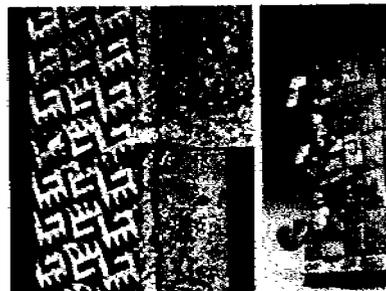


Figura 1.3. EJEMPLOS DE CONSTRUCCIONES EMPLEADAS EN MESOAMÉRICA. A LA IZQUIERDA, RELIEVES DE MITLA Y, A LA DERECHA, BASAMENTO Y ADORNOS MAYAS DE KABAH.



Los Olmecas (1200 a. C.) utilizaron para la construcción de La Venta, muros hechos con bloque de barro rojo y amarillo unidos también con barro.

En Teotihuacan es común encontrar taludes escalonados y la construcción en barro revestido de piedra. Hay indicios de que las casas tenían cimientos de piedra aunque sus muros fueran de materiales precarios.

Los edificios públicos poseían muros de piedra y suelos de tierra compacta. En algunos casos (como en las pirámides de mayor tamaño), se observan grandes troncos de árboles entre la mampostería, seguramente con la idea de que trabajarán como pilotes y transmitirán al terreno el peso de la construcción.

Los mayas hicieron grandes aportaciones técnicas. El uso de la llamada "bóveda maya" que comenzó en el techado de tumbas, se generalizó y permitió la sustitución de techos de palmas por los de mampostería. Este adelanto técnico llegó primero a edificios destinados al culto y a las residencias de los privilegiados. Las casas de los privilegiados, siempre cercanas a los edificios ceremoniales, eran de mampostería en su totalidad, y casi siempre sobre terrazas o sobre plataformas. Podían integrarse por pocas habitaciones alineadas, hasta por decenas de cuartos organizados en complejos conjuntos de varias crujías. Es frecuente la presencia de repisas a lo largo de los muros interiores, sobre las que se sentaban y dormían los moradores. Vigas empotradas en los paramentos de las bóvedas servían, además de elementos de refuerzo de la bóveda, para colgar enseres y víveres. En contraste, la vivienda de la población restante eran simples chozas con techos de palma o zacate. El piso era generalmente de tierra apisonada.

En el Valle de México, durante el periodo preclásico (700 a. C.) ya se utilizaba la mampostería con diferentes fines. Se construyen muros de contención en laderas de cerros, formando terrazas escalonadas, tanto para evitar la erosión como para aprovecharlas en los cultivos. En esta época se identifican herramientas y técnicas que favorecen el desarrollo de la arquitectura. Aparece el concepto de basamento para templos, escalinatas sencillas o con alfardas, rampas, el corte de la piedra y el recubrimiento de estuco, cierta orientación de los edificios, cinceles, plomadas, pulidores de pisos y muros, el mortero de cal y arena, etc.

#### **1.4. EGIPTO Y GRECIA**

La materia prima para la fabricación de piezas de mampostería siempre ha estado determinada por las formaciones y condiciones geológicas del lugar donde va a ser utilizada. El ladrillo cerámico se remonta a Sumeria por lo que allí había abundantes depósitos de arcilla, pero no de rocas.



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



Figura 1.4. MONOLITOS DE CUATRO TONELADAS EN EL NÚCLEO DE LAS GRANDES PIRÁMIDES EN LA VECINDAD DE EL CAIRO, EGIPTO.

Las obras comunes se construyeron de cañas o adobes, el ladrillo cerámico se usó rara vez.

Grecia adoptó una arquitectura de lujo y de exteriores y, si bien carecía de las ricas canteras egipcias, poseía los mejores mármoles para llevarla a cabo. Ellos sirvieron para revestir su gruesa mampostería de piedra caliza asentada con morteros de cal.

En Egipto y Grecia la construcción importante es de piedra, rectilínea; el arco era inexistente. Consecuentemente la arquitectura estaba limitada en sus posibilidades especiales interiores por la escasa resistencia del material a la tensión. La piedra exigía claros pequeños para las vigas, y las losas y los espacios entre columnas tenían que ser reducidos.

## 1.5. ROMA

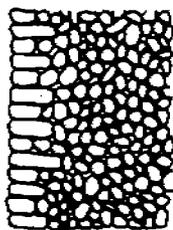
En algunas obras los romanos utilizaron piedra importada de las mejores canteras egipcias y mármol griego; en la mayoría de los casos emplearon la piedra de sus depósitos de caliza, travertino y tufa volcánica, y la tecnología sumeria de la mampostería de ladrillos de arcilla. A esta tecnología aportaron una nueva racionalidad constructiva y la invención del mortero de cemento y del concreto.

La nueva racionalidad consistió principalmente en el desarrollo de diferentes sistemas para la construcción de muros, que eran más económicos y fácil de levantar,



particularmente empleando el nuevo mortero de cal el cual incorporaron de acuerdo al relato de Vitruvio (25 a.C.) “una clase de polvo que por causas naturales produce resultados asombrosos. Se le encuentra en la vecindad de Baia y Putuoli y en los alrededores del monte Vesubio. Esta sustancia, cuando es mezclada con cal o piedras, no solamente provee resistencias a construcciones, sino que cuando se construye pilares en el mar, endurece bajo el agua”.

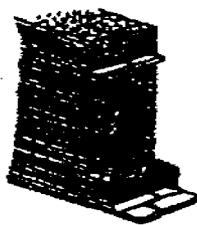
El compuesto de las tres sustancias (aglomerante hidráulico, agregado grueso y agua) descrito por Vitruvio es lo que hoy llamamos concreto. El aglomerante hidráulico, pariente cercano de los cementos puzolánicos modernos, se elabora mezclando dos partes de la “arena” volcánica (muy fina, de color chocolate), con una parte de cal (material conocido por las mas antiguas civilizaciones). Los óxidos de sílice finalmente pulverizados, contenidos naturalmente en la puzolana, reaccionaban químicamente con el hidróxido de calcio (la cal) en presencia del agua, para formar los componentes básicos de un aglomerante hidráulico.



a) Opus incertum



b) Opus reticulatum



c) Opus testaceum

Figura 1.5. TIPOS DE MUROS ROMANOS.

Si bien los romanos no sabían porque la “arena” de Putuoli daba un resultado distinto y superior a la convencional, la aplicaron sabia y liberalmente en sus grandes construcciones portuarias, urbanas, viales e hidráulicas, tanto para asentar piedras o ladrillos formando mampostería como para elaborar concreto añadiendo piedras, con el que construyeron muros, bases de pavimentos y cimentaciones. El molde de ese concreto en los muros, arcos y bóvedas estaba constituido por mampostería permanente de ladrillos de cerámica asentados con mortero, mientras que para formar las cúpulas tuvieron que desarrollar moldes provisionales (encofrados) de madera.

Las investigaciones e innovaciones romanas significaron una verdadera revolución tecnológica de la construcción y constituyendo así los siguientes efectos sustanciales:

- a) Posibilitar la construcción de cimentaciones más competentes
- b) Simplificar la construcción de los muros. El muro romano de las construcciones públicas era tradicionalmente de mampostería de piedra natural o de ladrillos cerámicos asentados con mortero de cal, y en los muros más gruesos, el espesor



entre dos muros delgados de mampostería era rellenado con pedacearía de ladrillos o piedras acomodadas con mortero de arena y cal. En ambos casos el procedimiento de endurecimiento de estos morteros se producía únicamente por medio de la carbonatación de la cal y la ganancia de resistencia era muy lenta. La invención del mortero de cemento permitió a los romanos un sustantivo incremento en la rapidez de construcción contribuyendo a que en breve tiempo se tuviera una infraestructura adecuada al proceso de expansión del imperio. Esto no se hubiese sido posible con la utilización de morteros que solo tenían cal.

- c) Libertad para el desarrollo de la técnica del arco, bóveda y la cúpula, que si bien eran formas estructurales conocidas desde los sumerios, 3500 años antes, estaban aprisionadas por las ajustadas restricciones impuestas al constructor por la piedra y el ladrillo.
- d) Posibilitar aberturas totales o parciales en los muros usando arcos o bóvedas, proveyendo así una herramienta de gran potencial en el diseño de interiores.

Muchas grandes obras romanas son fruto de la revolución del mortero y del concreto.

## 1.6. DEL SIGLO V AL SIGLO XIX

Después de Roma, el avance de la tecnología en Europa se detiene por varios siglos, se deja de fabricar ladrillo; los morteros de cemento y el concreto, desaparecen, perdiendo su tecnología, siendo rescatada trece siglos después por Smeaton, el fundador de la ingeniería civil, quien en 1756 reconoció la necesidad de usar en Inglaterra una mezcla de cal y pozołana italiana para la reconstrucción de partes que estarían sumergidas.

En el siglo XII el arco sumerio y romano de medio punto ceden el paso al arco apuntado gótico y a la bóveda de crucería que posibilitan cubrir grandes claros y transforman la estructuración tradicional de las obras de mampostería. Se sustituyen así gruesos muros laterales por muros esbeltos, y la pequeña ventana románica por grandes ventanas. Se alcanza así una arquitectura de equilibrio, en donde el empleo de la mampostería de arcilla o piedra con juntas gruesas de morteros de cal proveía, para estas construcciones la posibilidad de modificar su geometría inicial para acomodarse a las líneas resultantes de las fuerzas generadas por las cargas verticales y los empujes laterales, manteniendo al conjunto en una estabilidad de compresión en todas sus secciones y elementos.

La mampostería fue importante en Europa occidental para controlar desastrosos fuegos que destruían ciudades medievales. Por ejemplo después del gran fuego de 1666, Londres deja de ser una ciudad de madera para convertirse en una de mampostería. En



1620, el rey de Inglaterra Jacobo I, había proclamado el espesor mínimo de los muros en sótanos y primeros niveles en dos y medio espesor de ladrillo, ella fue seguida en 1625 por otra ordenanza que especificaba las dimensiones del ladrillo estándar.

La mampostería era aplicada también en otras partes del mundo. La gran muralla china de 9m. de altura tiene una gran parte de su longitud construida con ladrillos de arcilla unidos con mortero de cal. Los Árabes emplearon la mampostería en sus mezquitas y minaretes, desarrollando una construcción masiva en sus espesores, delicadísima en sus cierres y detallado y conteniendo muchas veces un increíble alargue geométrico.

Con la revolución industrial (siglo XVIII), se extendió la aplicación de la mampostería de ladrillos de arcilla en Inglaterra. Desde un inicio las grandes plantas para fabricar ladrillos se ubicaron en la vecindad de las minas de carbón, combustible abundante y barato.



Figura 1.6. MINARETE (SIGLO IX) DE SESENTA METROS DE ALTURA EN LA GRAN MEZQUITA DE SAMARRA, ACTUALMENTE IRAK.

Un paso importante en el mejoramiento de la producción de las piezas lo constituyo el cambio de combustible, usualmente a gas y el salto más importante fue el rediseño de los hornos, emprendido en países como Dinamarca, donde era muy grande la necesidad de economizar combustible. El perfeccionamiento del horno fue acompañado de maquinaria auxiliar: molinos, trituradoras y mezcladoras para la materias primas; extrusoras y prensas mecánicas para el formado de unidades. El cambio más significativo durante la revolución industrial fue la gran sustitución de la vía empírica por métodos científicos. Se realizo un análisis racional de las materias primas, una medición exacta de temperaturas del horno y una formulación de las normas para impedir el agrietamiento de ladrillos.

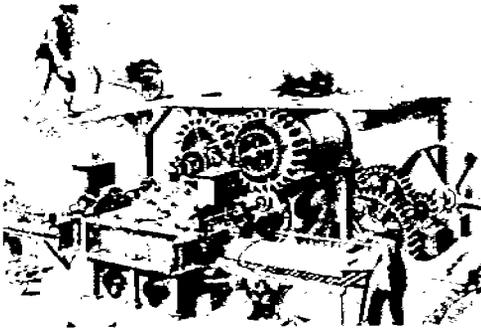


Figura 1.7. MÁQUINA DE CLAYTON (1863) PARA EL PROCESO DE EXTRUSIÓN. INCLUÍA DESDE LA MOLIENDA DE LA ARCILLA HASTA EL CORTE DE LAS UNIDADES.

La mampostería del ladrillo llega al nuevo mundo traída por los europeos. En las colonias de la costa Atlántica norteamericana se realizaron grandes producciones artesanales de ladrillos de arcilla empleando prácticamente los mismos moldes que miles de años atrás

inventaron los sumerios. Los ladrillos fueron utilizados para construir con los mejores obreros de la colonia, edificios de mampostería dando formalidad inglesa a las partes



antiguas de muchas ciudades norteamericanas y particularmente a las del estado de Virginia.

En Perú el ladrillo no se fabrica localmente: se trae como lastre en los barcos que en su viaje de vuelta trasladaron en botín a España. Por ello la construcción es principalmente de adobe y caña hasta bien entrado el siglo XX. La gran pendiente de Lima fue la excepción, ya que para su construcción en 1856 se instaló una fábrica donde se moldearon casi siete millones de ladrillos de cerámica. La mampostería se elaboró con mortero de cal.

Entre finales del siglo XVIII y el siglo XIX ocurrieron en Europa los siguientes avances:

En 1796, se patentó el "cemento romano" que era, estrictamente hablando, una cal hidráulica. En 1824 se inventa y patentó el cemento Pórtland (que es el que en la actualidad se ocupa con algún otro componente). Entre 1820 y 1840, se inventa la máquina para extruir ladrillos de arcilla, se usa por primera vez mampostería reforzada y se inventa el horno de producción continua. Entre 1850 y 1870 se inventa y patentó el bloque de concreto, el ladrillo sílico-calcareo y el concreto armado.

## 1.7. MAMPOSTERÍA REFORZADA

Brunel, el insigne ingeniero británico, propuso en 1813 el refuerzo de una chimenea en construcción con mampostería reforzada con barras de hierro forjado. Sin embargo fue con la construcción del túnel bajo el Támesis, en 1825, que aplicó por primera vez dicho material, con el que construyó dos accesos verticales al túnel que tenía 15m. de diámetro y 20m. de profundidad, con paredes de ladrillo de arcilla de 75cm. de espesor reforzadas verticalmente con pernos de hierro forjado de 2.5cm. de diámetros y zunchos circunferenciales de platabanda de 20cm. de ancho y 1.2cm. de espesor, que se iban colocando conforme iba avanzando el proceso de construcción. Los accesos fueron contruidos sobre el suelo hasta una altura de 12m. y luego hundidos excavando la tierra de su interior a manera de caissons. Brunel y Pasley ensayaron posteriormente vigas de mampostería reforzada con pernos de hierro forjado con claros de 6 y 7m. cargándolas hasta la rotura; ella ocurrió por la falla en tensión del refuerzo. A pesar de intentarlo los investigadores no pudieron llegar a métodos racionales de diseño.

El tema de la mampostería reforzada desaparece por 50 años, hasta que en 1889 el ingeniero francés Paul Cottancin patentó un método para reforzar y construir edificios de mampostería. En 1920 se construyeron varias obras de mampostería reforzada en la India, y se ensayaron un total de 682 especímenes entre vigas, losas, columnas y arcos. Este trabajo constituye la primera investigación organizada de mampostería reforzada, como el punto de inicio del desarrollo moderno de la mampostería estructural.



Japón un país también sometido a acciones sísmicas importantes construyó en las primeras décadas del siglo anterior muros de mampostería reforzada en edificios y en obras de contención, puentes, silos y chimeneas. En los Estados Unidos de América se inició en 1913 una investigación apoyada por los fabricantes de ladrillos de arcilla para el estudio experimental de la mampostería reforzada, sentando las bases para otras investigaciones similares de otras partes del mundo.

## 1.8. NOTAS FINALES

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

El colegio de construcción de la ciudad de Nueva York de 1924 indicaba que, un edificio de 12 pisos de altura de muros exteriores portantes de mampostería requería por cada metro cuadrado de área bruta, un tercio de metro cúbico de mampostería, obviamente, un material estructural con tan elevado consumo de material y tan grande ocupación de área no era competitivo y estaba destinado a desaparecer. Era claro que el problema no estaba en el material en sí, sino en la falta del conocimiento ingenieril del mismo, que imposibilitaba su análisis y dimensionamiento racionales. En los últimos 40 años, sobre las bases de investigaciones analíticas y experimentales en diversas partes del mundo, incluyendo a México el diseño y construcción de la mampostería se ha racionalizado y ha adquirido el apelativo redundante de mampostería estructural.

En 1854 se empleó, en Zúric, el primer edificio de muros portantes de mampostería diseñada racionalmente. Su altura es de 20 pisos y los muros de mampostería simple tienen 32cm. de espesor determinado prioritariamente por condiciones de aislamiento térmico. Por otra parte, la destrucción de edificaciones de mampostería simple por sismos en California, Colombia, China e Italia, y el buen comportamiento sísmico de la mampostería correctamente reforzada y construida en Nueva Zelanda, Chile, Perú y México han dado un fuerte impulso a la investigación, y a la determinación de configuraciones estructurales y a métodos de análisis, diseño y dimensionamiento racionales. En regiones sujetas a alto peligro sísmico, es usual la construcción de muros portantes de mampostería de varios niveles con diferentes modalidades de refuerzo, que son competitivos económicamente con otras formas y materiales estructurales.



---

Por su parte en algunos países latinoamericanos ubicados en zonas sísmicas se ha popularizado con mucho éxito el empleo de multifamiliares de altura media (hasta 5 o 6 pisos) de muros de carga de 12 a 24cm. de espesor, de mampostería reforzada con elementos perimetrales de concreto reforzado (mampostería confinada) o de mampostería con refuerzo interior, diseñados y construidos con base a reglamentos propios que recogen las investigaciones y experiencias alcanzadas.

## **CAPÍTULO 2**

### **PORQUE SE DAÑAN LAS ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA**



## INTRODUCCIÓN

La localización de la vivienda es uno de los factores de mayor relevancia y más graves consecuencias. La población que busca un predio para establecerse generalmente lo encuentra en lugares que son inadecuados para los asentamientos humanos. Paradójicamente el hecho de estar fuera de los planes, de las previsiones de desarrollo de las ciudades y fuera de la legalidad, es la única opción al alcance de la capacidad económica de esta población. Aunado a esto, en nuestro país, al igual que gran parte de los países en vías de desarrollo, se observan consistentemente daños en las edificaciones, ante la incidencia de eventos naturales.

Dentro de las edificaciones mayormente afectadas, como se entiende, se encuentran las viviendas de bajo costo, la mayoría de las cuales es de autoconstrucción y en ellas se emplean materiales de baja calidad, es decir, materiales que pueden denominarse como de características "precarias".

Existen varias causas por las que las construcciones, como nuestras viviendas pueden sufrir daños o deterioros que afectan su estética, su funcionalidad, o lo más grave, su seguridad estructural lo cual puede poner en riesgo nuestras pertenencias o nuestra vida y de nuestra familia.

El daño de la vivienda puede ser causado por fenómenos naturales, o también por la acción humana al darle un uso inadecuado y falta de mantenimiento.

Nos enfocaremos a los principales fenómenos naturales que causan daño en las viviendas.

Entre los fenómenos naturales que pueden afectar a nuestra vivienda tenemos los debidos a la actividad del planeta y masas terreas (fenómenos Geológicos), como lo son el Sismo, Volcanismo, deslizamientos de tierras y Hundimientos.

Por lo que se refiere a los fenómenos naturales que son causados por la acción del clima, como el viento, el agua y la temperatura (fenómenos Hidrometeorológicos) que son: Huracanes, Tornados (que no se dan en México), Lluvias torrenciales, Desborde de ríos, Inundaciones, Oleaje, Sequías y Heladas.

Los fenómenos naturales se presentan con diferente intensidad en distintas regiones del país.



Identificar cuales son los fenómenos que afectan a cada región es un paso importante para seleccionar el tipo de refuerzo de cada estructura.

Es importante también comprender como afectan estos fenómenos a dichas estructuras, es por eso que a continuación se hace una breve descripción de los fenómenos más significativos en la generación de daño en las estructuras.

## 2.1. VIENTO

El viento es aire en movimiento. Puede ser tan elevada la velocidad de dicho movimiento que se generan empujes y succiones intensas que pueden dañar a las estructuras. Las mayores velocidades del viento se registran durante los huracanes, en zonas costeras.

El viento, es el fenómeno meteorológico que mayormente genera daños a las estructuras y elementos de cubierta, pero en mucho menor medida a las estructuras de mampostería.

En general un muro pesado de mampostería o adobe no es afectado por el viento, pero si lo pueden ser bardas o muros aislados reforzados.

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD Y DENSIDAD DE DAÑO DEBIDO A VIENTOS FUERTES POR ESTADO

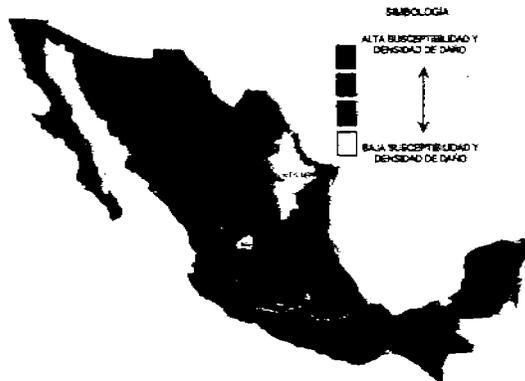


Figura 2.1: MAPA DE SUCEPTIBILIDAD DE DAÑO DEBIDO A VIENTOS FUERTES POR ESTADO



## 2.2. SISMO

En el siglo XX ocurrieron en México 100 sismos mayores de 6.5 grados Richter provocando un impacto significativo por los daños generados. En los últimos 20 años han ocasionado pérdidas por 4600 millones de dólares y miles de vidas humanas.

Si bien todo el territorio del país es susceptible a ser afectado por sismos de diversa intensidad, se considera que 2090 municipios son vulnerables en mayor medida a estos fenómenos naturales. De estos, 363 se clasifican como de muy alto riesgo y 632 como de alto riesgo.

Estos municipios tienen una extensión de más de 540000 Km<sup>2</sup> que representan el 27% del territorio nacional y en el cual viven cerca de 31 millones de habitantes, un tercio de la población total.

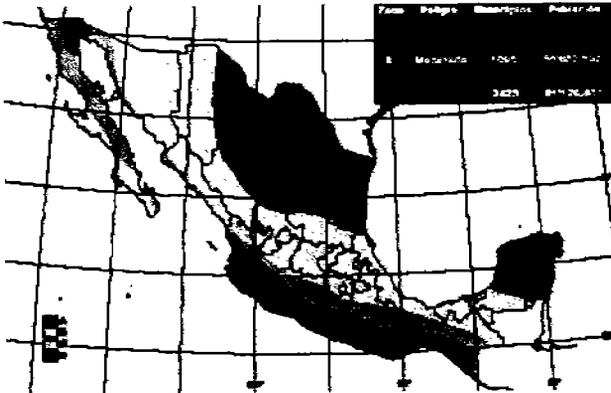


Figura 2.2: REGIONALIZACIÓN SÍSMICA DE MÉXICO

Gran parte de la costa del estado de Guerrero se encuentra ubicada en la zona de subducción entre las placas de Cocos y Norteamérica, que no ha liberado energía en varias décadas. Por ello puede presentarse un evento sísmico con el epicentro muy cercano a las ciudades de Acapulco y Chilpancingo y varias regiones aledañas densamente pobladas.

Los tipos de suelos, las importantes aceleraciones sísmicas detectadas y predichas para Chilpancingo, así como la alta vulnerabilidad de sus construcciones, implican la necesidad de tomar medidas preventivas en el corto plazo, con el fin de evitar al máximo un escenario de desastre importante.



Además, el alto índice demográfico y el consecuente crecimiento urbano que la ciudad ha experimentado, justifican la gran necesidad de verificar el nivel de vulnerabilidad sísmica de las construcciones, principalmente las ubicadas en las unidades habitacionales de la zona sur del país, las cuales se encuentran asentadas sobre depósitos aluviales blandos.

Un sismo de alta intensidad puede presentar daños significativos en las construcciones populares de mampostería, que se encuentran desplantadas en las regiones cercanas al epicentro, ya que este tipo de estructuras presentan una elevada rigidez y, por consiguiente, un comportamiento deficiente a la acción de las ondas sísmicas de periodo natural corto.

Por otro lado, el comportamiento observado y posteriores evaluaciones a los sismos de 1985 en la ciudad de México, resentidos por gran parte de la población y en un número elevado de estructuras, indicaron que las construcciones de mampostería confinada, principalmente, tuvieron una respuesta satisfactoria cuando en su concepción se adoptaron los requisitos normativos vigentes desde 1976. En términos generales, los daños observados en muros de mampostería se debieron al deterioro de los materiales débiles (adobe y mampostería sin refuerzo), al intemperismo y filtraciones, y a hundimientos diferenciales. Los efectos sísmicos dañaron estructuras con muros de relleno, por la incompatibilidad de deformaciones con el marco confinante, y con baja densidad de muros en la dirección resistente. Fue por esto que no se realizaron cambios radicales en las especificaciones para estructuras de mampostería. Sólo se reorganizó su formato, se simplificaron los métodos y se ajustaron los valores de diseño en los materiales.

Es importante recordar que, una vez que la construcción de mampostería es dañada, esta pierde, en gran parte, su capacidad para disipar la energía que el sismo le trasmite.

## 2.3. VULCANISMO

Con respecto al peligro volcánico, la tasa de erupción media durante los últimos 500 años ha sido de 15 erupciones por siglo.

El vulcanismo le produce daños a la mampostería debido a factores como la alta sismicidad, efectos de temperatura (causado a las erupciones) y por causa de las reacciones químicas adversas (debido a las emulsiones de material incandescente y cenizas).

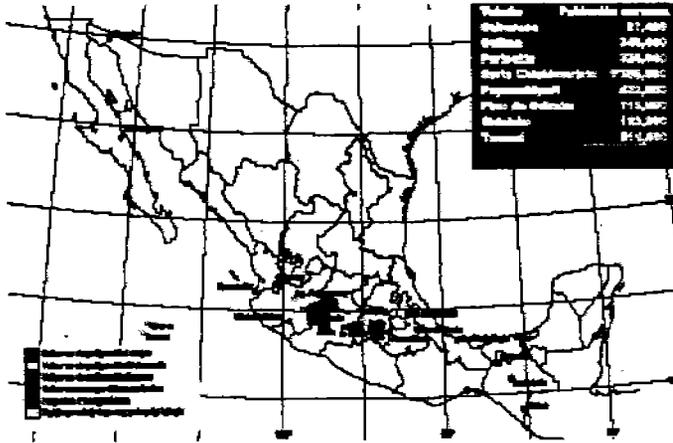


Figura 2.3: VULCANISMO ACTIVO, CALDERAS Y REGIONES MONOGENETICAS

## 2.4. INUNDACIONES

En promedio penetran al territorio nacional anualmente 4 ciclones destructivos, produciendo lluvias intensas con sus consecuentes inundaciones y deslaves.

Sucede en la práctica que la ubicación de las viviendas ocurre por ejemplo, en el fondo de las cañadas, donde el régimen fluvial que priva en muchos países, ocasiona escurrimientos esporádicos. Hay épocas del año sin flujo de agua o zonas donde pasan 10 o 15 años sin que haya una gran avenida y esto hace que la gente sin información ni conocimiento de las condiciones naturales se ubique en lugares que pueden estar sujetos a grandes descargas de aguas en un momento inesperados. Dichas descargas pueden provocar inundaciones, las cuales, en muchas ocasiones las viviendas son incapaces de resistir por las presiones excesivas en dirección perpendicular a los muros que provoca el peso del agua o el lodo, así como por el desmoronamiento o deslave que el agua puede provocar no solo en el suelo (socavación), alterando así la estabilidad de la cimentación, sino en materiales de baja calidad como el adobe o incluso el incremento a la inestabilidad de laderas provocando desgajamiento de cerros y montañas.



Figura 2.4: ZONAS DE PELIGRO POR INUNDACIONES EN MÉXICO

## 2.5. HUNDIMIENTOS

Ocurre que también otro tipo de localización común de las viviendas ocurre en terrenos minados, provocando así hundimientos importantes en el terreno y hasta colapsos parciales o totales de las viviendas y la superficie del suelo. Pueden ser terrenos planos, aparentemente resistentes, que hacen sentir seguridad en el asentamiento, si se desconoce la existencia de galerías o minas de anteriores explotaciones que ponen en peligro la localización de las viviendas en la superficie, estos terrenos generalmente están libres porque en la reglamentación y en los planes previstos se sabe que no pueden ser ocupados.

De igual manera muchas de las ciudades de nuestro país, se encuentran desplantadas en fondos de valles. Dichas ciudades tienen suelos aluviales o arcillosos altamente compresibles, susceptibles a grandes deformaciones por el exceso de carga o por elevadas succiones de agua, que pueden tener como consecuencia grandes asentamientos generales, y cuando existen cargas excéntricas asentamientos diferenciales en las construcciones, así como el agrietamiento del terreno, provocando con esto que se generen mayores esfuerzos en el total o parte de la estructura de las edificaciones, las que en muchas ocasiones son incapaces de resistir.

## 2.6. DESLIZAMIENTO DE TIERRAS

La inestabilidad de laderas naturales y la ocurrencia de flujos de lodo y escombros, hundimiento regional y local pueden afectar prácticamente todo el territorio nacional.



Con frecuencia la ubicación de viviendas se dan también en laderas con muy altas pendientes sujetas a deslizamientos y deslaves, o en las zonas bajas en cotas por debajo de estas laderas donde las viviendas tienen condiciones que pueden ser afectadas por un deslizamiento en tiempo de lluvias



Figura 2.5: ZONAS DE SUSCEPTIBILIDAD DE INESTABILIDAD DE LADERAS NATURALES EN MÉXICO

Las condiciones en las laderas se agravan por la deforestación, intemperismo, erosión y por la alteración de las condiciones de drenaje y de equilibrio originales.

## 2.7. EROSIÓN

La erosión o el transporte de partículas sedimentarias, causada esencialmente por el desgaste que provocan los fenómenos naturales tales como la lluvia, el sol, el viento y el arrastre de sedimentos o materiales devastadores, al igual que el ocasionado por el hombre y procesos gravitacionales, así como efectos químicos, pueden provocar desgastes tan altos que los materiales que soportan las edificaciones o con los que están construidas nuestras viviendas pueden perder su resistencia y con ello facilitar que se generen problemas estructurales locales, o lo que es peor, que exista un colapso total en nuestra construcción.

En México, la mayor pérdida de suelo se produce por la lluvia. Los estados más afectados por erosión hídrica son México, Tlaxcala y Oaxaca.



## 2.8. OTRAS CAUSAS

Existen también otras condiciones de riesgo y se dan por las características mismas de la construcción de la vivienda. En ocasiones se trata de estructuras muy ligeras, hechas a base de madera, cartón o cualquier otro tipo de material, que están sujetas a riesgo de incendio o de colapso por lluvia, granizo, nieve o viento. Frecuentemente el riesgo se debe a las mismas condiciones de la construcción, ya sea por problemas de mantenimiento, como en el caso de estructuras de hierro, sin protección suficiente, deficiencia en los sistemas constructivos, tales como ausencia de cimientos o la existencia de niveles de piso por debajo del nivel de la calle, lo que vuelve inmediato el riesgo de la inundación aunque no haya un fenómeno natural fuera de la normalidad. De esta manera, el agua al penetrar en las construcciones da lugar a procesos de tipo biológico y procesos de tipo químico, que finalmente pueden desencadenar en otros como fisuración, pérdida de capacidad estructural, fractura o desprendimiento de elementos constructivos.

Como procesos biológicos podemos mencionar el conocido verdín, manchas blanquecinas o negras, etc. Como los de tipo químico las manchas blancas pulverulentas, disgregación de material, etc.

Existen también otros fenómenos que pueden provocar daño en nuestras viviendas, tales como los químicos y estos se deben a diversas causas en las que el daño depende en gran medida de la localización de las construcciones, el tipo de material con el que están construidas y de las causas que pueden originar diversos daños químicos.

Por otra parte el hecho de no tener una posesión legal sobre la tierra origina que la gente no quiera arriesgar y en consecuencia no destine sus muy limitados recursos económicos a la construcción de una vivienda estable y sólida, sino que busca una situación "transitoria", que puede durar 10, 20 años, hasta que la familia accede a otra tierra u otro lugar donde sea legal o que logre que se genere un proceso de la regularización y entonces, por la seguridad de la tenencia inicia el mejoramiento de las condiciones de su vivienda.

**CAPÍTULO 3**  
**TIPOS DE MUROS**



## INTRODUCCIÓN

Las unidades de mampostería que se utilicen en las construcciones de muros, pueden ser de adobe, concreto, arcilla cocida, suelo-cemento, arena-cemento, piedras naturales y silito calcáreas. Las unidades de mampostería pueden ser de perforación vertical, perforación horizontal o macizas. La creación de nuevos materiales y sistemas constructivos para la vivienda, ha sido y será permanente, siempre para lograr un producto que proporcione mayor confort al usuario, mejor apariencia, durabilidad y sobre todo, a menor costo.

Los muros son elementos que dividen los espacios en una vivienda, así como para proteger espacios de construcciones o espacios o contener materiales o elementos tales como laderas o líquidos.

La clasificación de los muros se puede hacer de dos maneras, la primera esta dada de la siguiente manera:

**Muros confinados estructurales:** son aquellos que soportan las losas y techos además de su propio peso y resisten las fuerzas horizontales que les son transmitidas por algunos fenómenos, tales como el sismo o el viento.

**Muros de rigidez:** estos son los que soportan su propio peso pero ayudan a resistir las fuerzas horizontales causadas por sismos en la dirección contraria a los muros estructurales no considerándose para el soporte de losas y techos.

**Muros no estructurales:** Son los muros que solo sirven para separar o delimitar espacios de las viviendas y no soportan cargas mas que las de su propio peso.

La segunda clasificación se describe a continuación, pero en general esta muy relacionada a la anterior.

### 3.1. MUROS DIAFRAGMA

Estos son los que se encuentran contenidos o rodeados por las vigas y columnas de un marco estructural al que proporcionan rigidez ante cargas laterales. Pueden ser de mampostería confinada, reforzada interiormente, no reforzada o de piedras naturales. Las Normas Técnicas Complementarias de Mampostería del Reglamento de Construcciones del

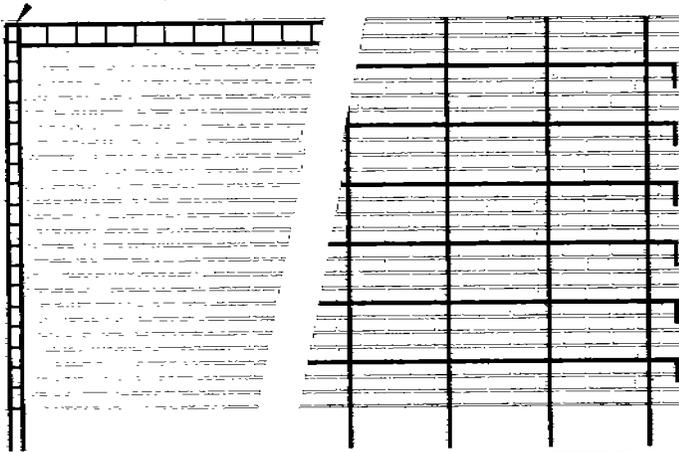


Distrito Federal, nos especifica que el espesor de los muros de mampostería no será menor de 10cm.

La unión entre muros diafragma, deberá garantizar la estabilidad de este, para evitar la posibilidad de volteo del muro bajo la acción de fuerzas perpendiculares a su plano. Para lograrlo, se diseñará y detallará la unión entre el marco y el muro diafragma o bien se reforzará el muro con castillos o refuerzo interior.

Puede integrarse al marco, usándolos como cimbra parcial de traves y columnas, o bien colocarse después del cimbrado del marco usando dalas y castillos de "empaque" o morteros con aditivos expansores en la mezcla en lugar de la última hilada.

Posible dala y castillo



CASTILLOS O REFUERZO INTERIOR

Figura 3.1 MURO DIAFRAGMA

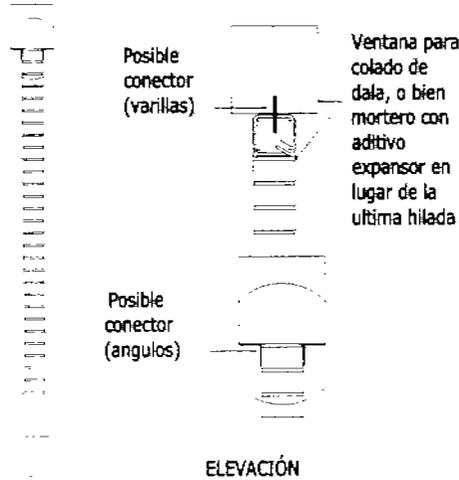


Figura 3.2 DETALLE DE MURO DIAFRAGMA

Un caso de estructuras para vivienda, que resulta interesante y utilizado no muy frecuente por los ingenieros, lo constituye un conjunto de marcos metálicos ortogonales, montados en una primera etapa, como un esqueleto "vacío", usando perfiles de lamina 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, "rellenado" el espacio dentro de traveses y columnas, formando unas piezas "mixtas" y de paso constituyendo el "empaque" requerido para un muro diafragma.

Esta extracción permite la fabricación parcial, con las ventajas de la estructura mixta, pero con los acabados e imágenes arquitectónicas difícilmente dominada, y además, requiere la milimétrica y especialización durante la fabricación y montaje de la estructura metálica.

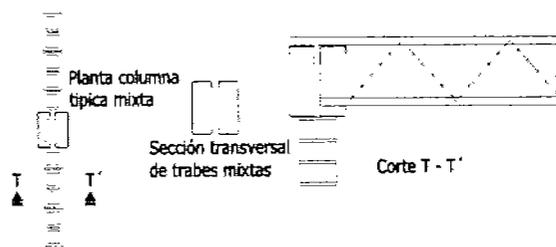


Figura 3.3 PIEZA MIXTA



## 3.2. MÜROS CONFINADOS

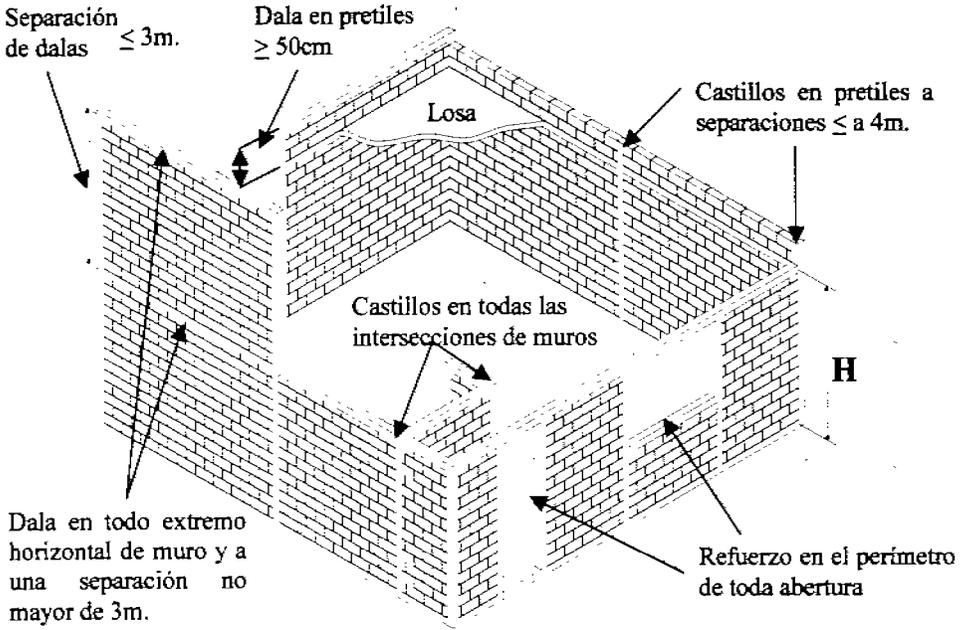
### Alcance

Son los muros que están reforzados con dalas y castillos que cumplen con requisitos geométricos y de refuerzo. En esta modalidad los castillos o porciones de ellos se cuelan una vez construido el muro o la parte de él que corresponda.

### Castillos y dalas exteriores

Los castillos y dalas deberán cumplir con lo siguiente:

- a) Existirán castillos por lo menos en los extremos de los muros e intersecciones con otros muros, así como también en puntos intermedios del muro a una separación no mayor que 1.5 la altura de este ni 4m. Los pretilos o parapetos deberán tener castillos con una separación no mayor de 4m.
- b) Existirá una dala en todo extremo horizontal de muro, a menos que este último esté ligado a un elemento de concreto reforzado con un peralte mínimo de 10cm. Aun en este caso, se deberá colocar refuerzo longitudinal y transversal como lo establecen los incisos e y g. Además, existirán dalas en el interior del muro a una separación no mayor de 3m. y en la parte superior de pretilos o parapetos cuya altura sea superior a 50cm.
- c) Los castillos y dalas tendrán como dimensión mínima el espesor de la mampostería del muro,  $t$ .
- d) El concreto de castillos y dalas tendrá un resistencia a compresión,  $f'c$ , no menor de  $150\text{Kg./cm}^2$ .
- e) El refuerzo longitudinal del castillo y la dala en cualquier caso, deberá estar formado por lo menos de tres barras, cuya área total sea al menos igual a la obtenida con la tabla siguiente.



$t > 10cm.$

## PLANTA

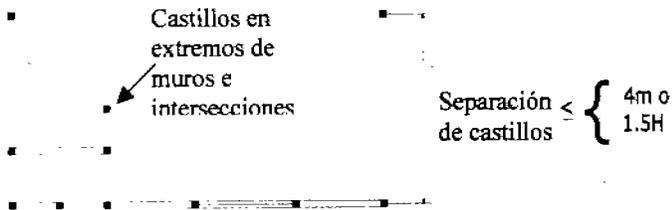


Figura 3.4 CASTILLOS Y DALAS



**Tabla 3.1 Mínimo número de barras longitudinales para castillos y dalas**

t (cm.)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )		Mínimo número de barras longitudinales para castillos y dalas			
	$f_c=150\text{Kg/cm}^2$	$f_y=4200\text{Kg/cm}^2$	Vs #2	Vs #2,5	Vs #3	Vs #4
	$f_c=200\text{Kg/cm}^2$	$f_y=4200\text{Kg/cm}^2$				
10	0,71		3	3	3	3
12	1,03		3	3	3	3
14	1,4		4	3	3	3
	$f_c=200\text{Kg/cm}^2$					
	$f_y=4200\text{Kg/cm}^2$					
10	0,95		4	3	3	3
12	1,37		4	3	3	3
14	1,87		5	3	3	3
	$f_c=250\text{Kg/cm}^2$					
	$f_y=4200\text{Kg/cm}^2$					
10	1,19		4	3	3	3
12	1,71		5	3	3	3
14	2,33		6	3	3	3

- f) El refuerzo longitudinal del castillo y la dala estará anclado en los elementos que limitan al muro de manera que pueda alcanzar su esfuerzo de fluencia.
- g) Los castillos y dalas estarán reforzados transversalmente por estribos cerrados. La separación de los estribos,  $s$ , no excederá de  $1.5t$  ni de 20cm.

Donde  $t$  es el espesor del muro.

Cuando la vivienda se localice en una zona de mediana o alta vulnerabilidad sísmica, la separación de los estribos no será mayor que una hilada dentro de una longitud  $H_o$  en cada extremo de los castillos.

$H_o$  se tomará como el mayor de  $H/6$ ,  $2h_c$  y 40cm.  $h_c$  es el peralte de la trabe y esta debe ser mayor o igual al espesor del muro " $t$ "; y  $H$  es la altura total del muro.

**Tabla 3.2 Mínimo número de barras transversales para castillos y dalas**

$f_c$ (Kg./cm <sup>2</sup> )	$f_y$ (Kg./cm <sup>2</sup> )			
	2530		4200	6000
150	P <sub>min</sub> =0,0119		P <sub>min</sub> =0,0071	
	15X15	15X20	15X15	15X15
	3 # 3/8"	4 # 3/8"	3 # 5/16"	4 # 5/32"
	Est. # 1/4"	Est. # 1/4"	Est. # 1/4"	Est. # 1/4"
	@ 20 cm	@ 20 cm	@ 20 cm	@ 20 cm o Armex
200	P <sub>min</sub> =0,0158		P <sub>min</sub> =0,0158	P <sub>min</sub> =0,0067
	15X20	15X15	15X20	15X15
	4 # 5/8"	3 # 5/16"	4 # 5/16"	4 # 5/32"
	Est. # 1/4"	Est. # 1/4"	Est. # 1/4"	Est. # 1/4"



@ 20 cm      @ 20 cm      @ 20 cm      @ 20 cm o Armex

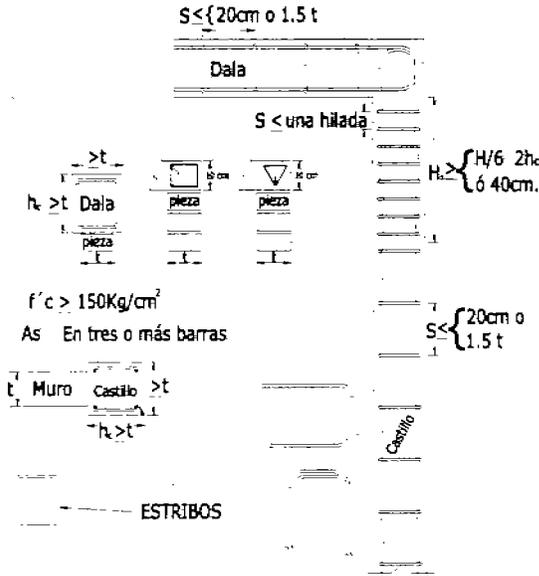


Figura 3.5 CASTILLOS Y DALAS

### Muros con castillos interiores

Se acepta considerar a los muros como confinados si los castillos interiores y las dalas cumplen con todos los incisos anteriores, con excepción de (c), ya que estos pueden ser colados en el interior de las celdas de las piezas de los muros.

Se aceptará usar morteros y concretos de relleno que se emplean en elementos estructurales de mampostería para rellenar celdas de piezas huecas, los cuales deberán cumplir con los siguientes requisitos:

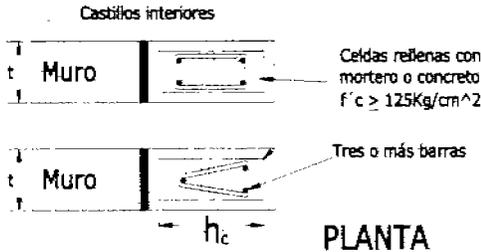


Figura 3.6 CASTILLOS INTERIORES

- a) Su resistencia a compresión será por lo menos de 125Kg./cm<sup>2</sup>.



- b) El tamaño máximo del agregado no excederá de 10 mm.
- c) Se empleará la mínima cantidad de agua que permita que la mezcla sea lo suficientemente fluida para rellenar las celdas y cubrir completamente las barras de refuerzo vertical, en el caso de que se cuente con refuerzo interior. Se aceptará el uso de aditivos que mejoren la trabajabilidad.
- d) En la tabla 3 se incluyen revenimientos nominales recomendados para morteros y concretos de relleno según la absorción de las piezas.

**Tabla 3.3 Revenimiento permisible para los morteros y concretos de relleno, en función de la absorción de la pieza**

Absorción de la pieza, %	Revenimiento nominal <sup>1</sup> , cm.
8 a 10	15
10 a 15	17.5
15 a 20	20

<sup>1</sup> Se aceptan los revenimientos con una tolerancia de  $\pm 2.5$  cm.

En la tabla 4 se muestran las relaciones volumétricas recomendadas entre los distintos componentes.

**Tabla 3.4 Proporcionamientos, en volumen, recomendados para morteros y concretos de relleno en elementos estructurales**

Tipo	Partes de cemento hidráulico	Partes de cal hidratada	Partes de arena <sup>1</sup>	Partes de grava
Mortero	1	0 a 0.25	2.25 a 3	—
Concreto	1	0 a 0.1	2.25 a 3	1 a 2

<sup>1</sup> El volumen de arena se medirá en estado suelto.

Se deberán colocar estribos o grapas en los extremos de los castillos como se indica en el inciso h.

## Muros con aberturas

Existirán elementos de refuerzo tales como dalas y castillos de las mismas características mencionadas anteriormente, en el perímetro de todo hueco, cuya dimensión horizontal y vertical exceda de la cuarta parte de la dimensión del muro o mejor dicho de la separación entre castillos, o de 600mm. en la misma dirección. También se colocarán elementos verticales y horizontales de refuerzo en aberturas con altura igual a la del muro.



En muros con castillos interiores, se aceptará sustituir a la dala de la parte inferior de una abertura por acero de refuerzo horizontal anclado en los castillos que confinan a la abertura. El refuerzo consistirá de barras capaces de alcanzar en conjunto una tensión a la fluencia de 2980Kg.

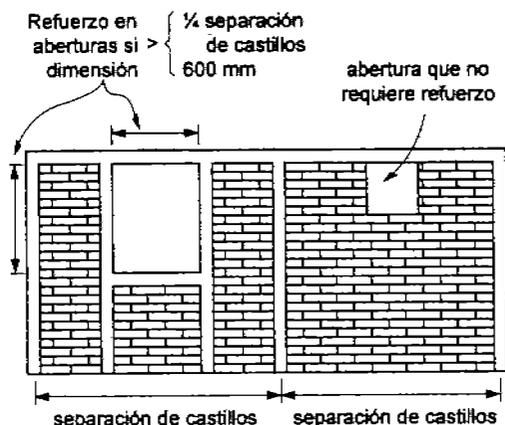


Figura 3.7 REQUISITOS PARA MAMPOSTERÍA CONFINADA, CON REFUERZO EN EL PERÍMETRO DE ABERTURAS

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

El espesor de la mampostería de los muros,  $t$ , no será menor que 10cm. y la relación altura libre a espesor de la mampostería del muro,  $H/t$ , no excederá de 30, en caso contrario, se deberá diseñar el refuerzo del muro.

### 3.3. MUROS REFORZADOS INTERIORMENTE

#### Alcance

Son muros reforzados con malla (escobilla), o barras corrugadas de acero, horizontales y verticales, colocadas en los huecos de las piezas, en ductos o en juntas.

En la mampostería reforzada interiormente se distribuye el refuerzo horizontal y vertical en el interior del muro, aprovechando para ello piezas huecas o con formas especiales para alojar el refuerzo y colar los huecos con mortero o lechada de elevada fluidez. En otros casos se construyen muros con piezas macizas alojando el refuerzo horizontal a lo largo de las juntas. Cabe mencionar que este es el sistema de mampostería



más conocido y utilizado en otros países como Japón, Estados Unidos, Nueva Zelanda e Italia entre otros.

## **Tamaño, colocación y separación del refuerzo**

### **General**

Toda barra de refuerzo deberá estar rodeada en toda su longitud por mortero, concreto o mortero de relleno, con excepción de las barras de refuerzo horizontal que estén ancladas según como se menciona más adelante. ►

### **Tamaño del acero de refuerzo**

#### **Diámetro del acero de refuerzo longitudinal**

El diámetro de la barra más gruesa no deberá exceder de la mitad de la menor dimensión libre de una celda. En castillos y dalas, el diámetro de la barra más gruesa no deberá exceder de un sexto de la menor dimensión (fig. 3.8).

#### **Diámetro del acero de refuerzo horizontal**

El diámetro del refuerzo horizontal no será menor que 0.35cm (calibre 10) ni mayor que tres cuartas partes del espesor de la junta (fig. 3.8).

El mortero en las juntas cubrirá totalmente las caras horizontales y verticales de la pieza. Su espesor será el mínimo que permita una capa uniforme de mortero y la alineación de las piezas. Si se utilizan piezas de fabricación mecanizada, el espesor de las juntas horizontales no excederá de 1.2cm., solo si se coloca refuerzo horizontal en las juntas, ni de 1.0cm. sin refuerzo horizontal. Si se usan piezas de fabricación artesanal, el espesor de las juntas no excederá de 1.5cm. El espesor mínimo será de 0.6cm.

## **Colocación y separación del acero de refuerzo longitudinal**

#### **Distancia libre entre barras**

La distancia libre entre barras paralelas, empalmes de barras, o entre barras y empalmes, no será menor que el diámetro nominal de la barra más gruesa, ni que 2.5cm. (fig. 3.8).

#### **Paquetes de barras**

Únicamente se aceptarán paquetes de dos barras como máximo.

#### **Espesor de mortero de relleno y refuerzo**

El espesor del concreto o mortero de relleno, entre las barras o empalmes y la pared de la pieza será al menos de 0.6cm. (fig. 3.8).



## Protección del acero de refuerzo

### Recubrimiento en castillos exteriores y dalas

En muros confinados con castillos exteriores, las barras de refuerzo longitudinal de castillos y dalas deberán tener un recubrimiento mínimo de concreto de 2cm. (fig. 3.8).

### Recubrimiento en castillos interiores y en muros con refuerzo interior

Si la cara del muro está expuesta a tierra, el recubrimiento será de 3.5cm. para barras no mayores del No. 5 (1.59cm. de diámetro) o de 5cm. para barras más gruesas (fig. 3.8).

### Recubrimiento de refuerzo horizontal

La distancia libre mínima entre una barra de refuerzo horizontal o malla de alambre soldado y el exterior del muro será la menor de 1cm., o una vez el diámetro de la barra (fig. 3.9).

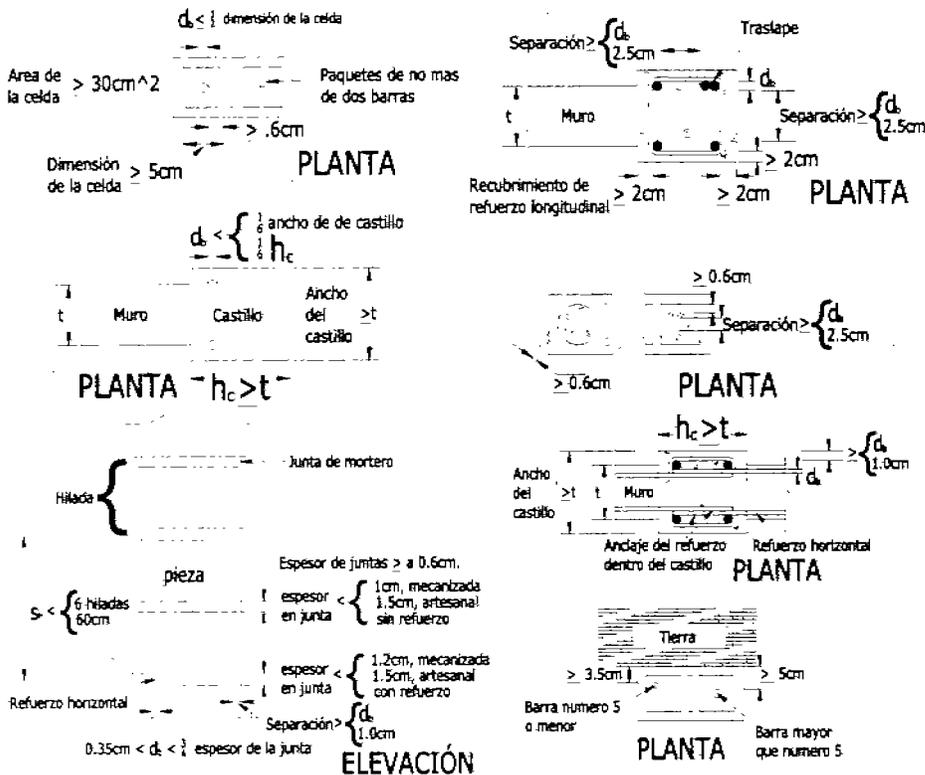


Figura 3.8 TAMAÑO, COLOCACIÓN Y PROTECCIÓN DEL REFUERZO



## Dobles del refuerzo

El radio interior de un doblez no será menor que  $(f_y/60 \sqrt{f_c'})$  si se usan Kg/cm<sup>2</sup> veces el diámetro de la barra doblada, a menos que dicha barra quede doblada alrededor de otra de diámetro no menor que el de ella, o se confine adecuadamente al concreto, por ejemplo mediante refuerzo perpendicular al plano de la barra.

En todo doblez o cambio de dirección del acero longitudinal debe colocarse refuerzo transversal capaz de equilibrar la resultante de las tensiones o compresiones desarrolladas en las barras, a menos que el concreto en si sea capaz de ello.

### En barras rectas

Las barras a tensión podrán terminar con un doblez a 90 ó 180 grados. El tramo recto después del doblez no será menor que  $12 d_b$  para dobleces a 90 grados, ni menor que  $4 d_b$  para dobleces a 180 grados, donde  $d_b$  es el diámetro de la barra (fig. 3.9).

### En estribos

Los estribos deberán ser cerrados, de una pieza, y deben rematar en una esquina con dobleces de 135 grados, seguidos de tramos rectos de no menos de  $6 d_b$  de largo ni de 3.5cm. (fig. 3.9).

### En grapas

Las grapas deberán rematarse con dobleces a 180 grados, seguidos de tramos rectos de no menos de  $6 d_b$  de largo ni de 3.5cm. (fig. 3.9).

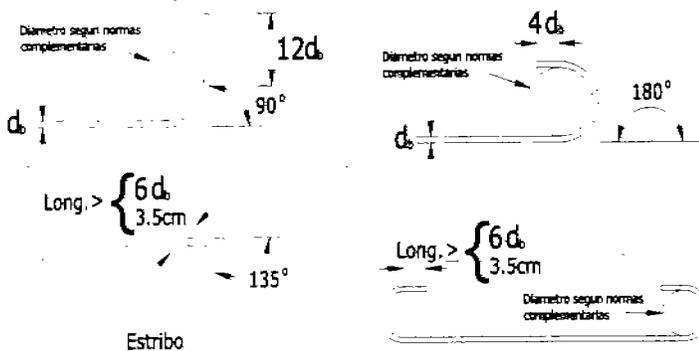


Figura 3.9 DOBLECES DEL REFUERZO



## Anclaje

### Requisitos generales

La fuerza de tensión o compresión que actúa en el acero de refuerzo en toda sección debe desarrollarse a cada lado de la sección considerada por medio de adherencia en una longitud suficiente de barra.

En lo general, se aplicará lo dispuesto en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, puesto que en ningún país y ninguna dependencia e institución, se han efectuado las pruebas necesarias para garantizar una longitud menor a la estipulada en dichas normas.

#### ◀ Refuerzo horizontal en juntas de mortero

El refuerzo horizontal colocado en juntas de mortero deberá ser continuo a lo largo del muro, entre dos castillos si se trata de mampostería confinada, o entre dos celdas rellenas y reforzadas con barras verticales en muros reforzados interiormente. Si se requiere, se podrán anclar dos o más barras o alambres en el mismo castillo o celda que refuercen muros colineales o transversales. No se admitirá el traslape de alambres o barras de refuerzo horizontal en ningún tramo.

El refuerzo horizontal deberá anclarse en los castillos, ya sea exteriores o interiores, o en las celdas rellenas reforzadas (fig. 3.10). Se deberá anclar mediante dobleces a 90 grados colocados dentro de los castillos o celdas. El doblez del gancho se colocará verticalmente dentro del castillo o celda rellena lo más alejado posible de la cara del castillo o de la pared de la celda rellena en contacto con la mampostería.

Para fines de revisar la longitud de desarrollo, la sección crítica será la cara del castillo o la pared de la celda rellena en contacto con la mampostería (fig. 3.10).

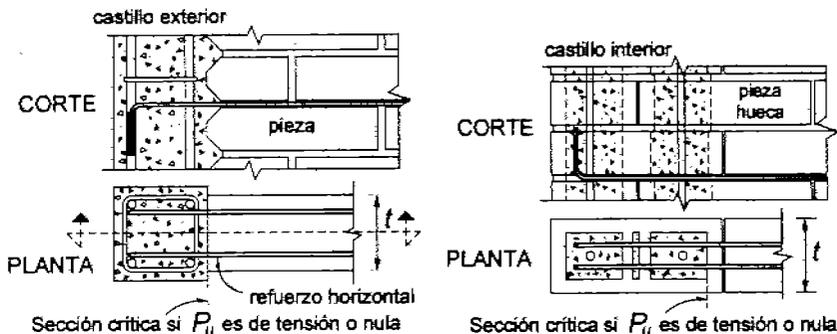


Figura 3.10 ANCLAJE DE REFUERZO HORIZONTAL



### Mallas de alambre soldado

Las mallas de alambre soldado se deberán anclar a la mampostería, así como a los castillos y dalas si existen, de manera que pueda alcanzar su esfuerzo especificado de fluencia (fig. 3.11). Se aceptará ahogar la malla en el concreto; para ello, deberán ahogarse cuando menos dos alambres perpendiculares a la dirección de análisis, distando el más próximo no menos de 5cm. de la sección considerada (fig. 3.11). Si para fijar la malla de alambre soldado se usan conectores instalados a través de una carga explosiva de potencia controlada o clavos de acero, la separación máxima será de 45cm.

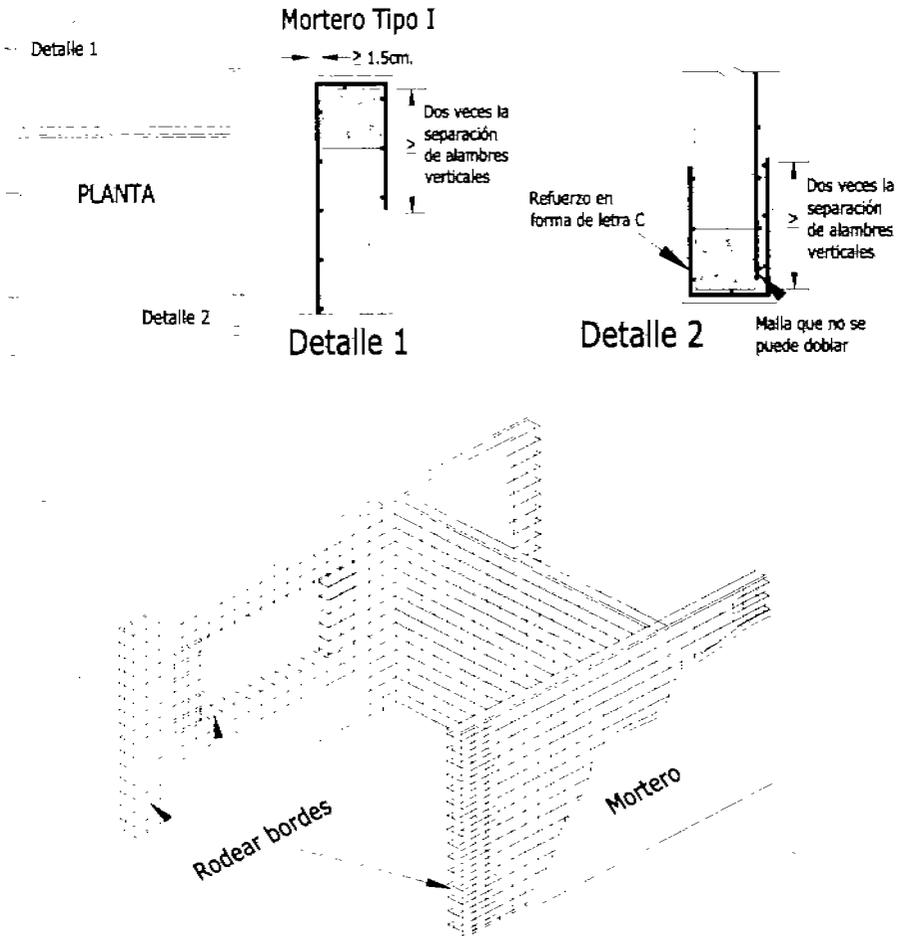


Figura 3.11.a) REFUERZO CON MALLA DE ALAMBRE SOLDADO Y RECUBRIMIENTO DE MORTERO

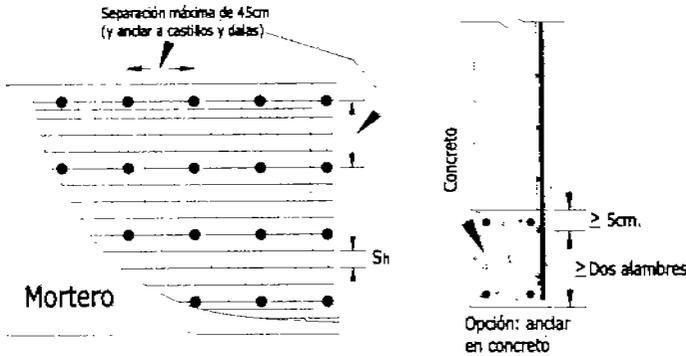


Figura 3.11.b) REFUERZO CON MALLA DE ALAMBRE SOLDADO Y RECUBRIMIENTO DE MORTERO

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

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

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

### Uniones de barras

#### a) Barras sujetas a tensión

La longitud de traslapes de barras en concreto se determinará según lo especificado en la Normas Técnicas Para Concreto Reforzado. No se aceptan uniones soldadas. Si las barras se traslapan en el interior de piezas huecas, la longitud del traslape será al menos igual a  $50 d_b$  en barras con esfuerzo especificado de fluencia de hasta  $4200 \text{Kg./cm}^2$  y al menos igual a  $60 d_b$  en barras con esfuerzo especificado de fluencia mayor;  $d_b$  es el diámetro de la barra más gruesa del traslape. El traslape se ubicará en el tercio medio de la altura del muro. No se aceptan traslapes de más del 50 por ciento del acero longitudinal del elemento (castillo, dala, muro) en una misma sección.

No se permitirán traslapes en los extremos de los castillos (ya sean éstos exteriores o interiores) de planta baja a lo largo de la longitud  $H_o$ ,  $H_o$  se tomará como el mayor de  $H/6$ ,  $2 h_c$  y  $40\text{cm}$ .



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

b) Mallas de alambre soldado

Las mallas de alambre soldado deberán ser continuas, sin traslape, a lo largo del muro. Si la altura del muro así lo demanda, se aceptará unir las mallas. El traslape se colocará en una zona donde los esfuerzos esperados en los alambres sean bajos. El traslape medido entre los alambres transversales extremos de las hojas que se unen no será menor que dos veces la separación entre alambres transversales más 5cm.

**Refuerzo vertical**

El refuerzo vertical en el interior del muro tendrá una separación no mayor de seis veces el espesor del mismo ni mayor de 80cm. (fig. 3.12).

**Refuerzo horizontal**

**Separación del acero de refuerzo horizontal**

La separación máxima del refuerzo horizontal,  $s_h$ , no excederá de seis hiladas o 60cm. (fig. 3.12).

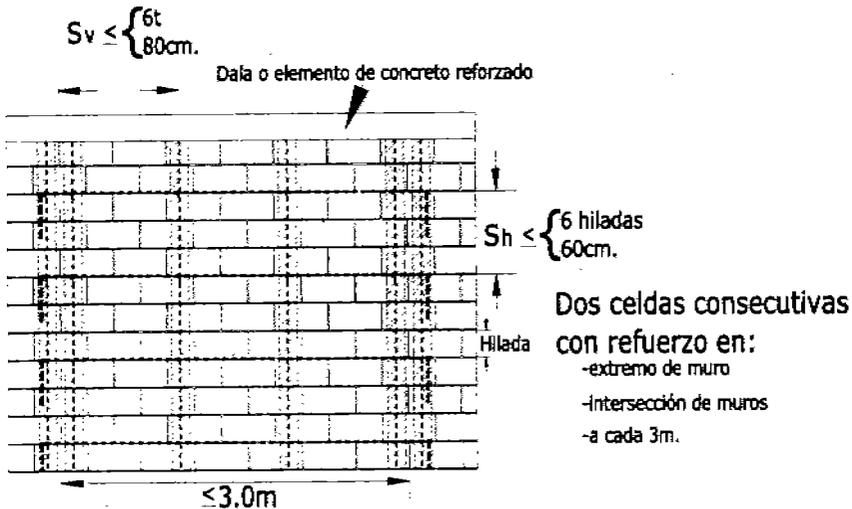


Figura 3.12 REFUERZO HORIZONTAL Y VERTICAL



## Refuerzo en los extremos de muros

- a) Existirá una dala en todo extremo horizontal de muro, a menos que este último esté ligado a un elemento de concreto reforzado con un peralte mínimo de 10cm. Aún en este caso, se deberá colocar refuerzo longitudinal y transversal (ver fig. 3.13).

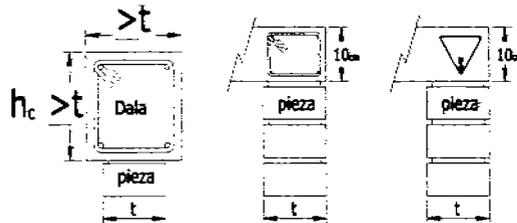


Figura 3.13 REFUERZO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL EN EXTREMOS DE MUROS

El refuerzo longitudinal en cualquier caso, estará formado por lo menos de tres barras, cuya área total sea al menos igual a la obtenida en la tabla 3.1.

El refuerzo transversal de la dala estará formado por estribos cerrados y con un área, al menos igual a la localizada en la tabla 3.2.

- b) Deberá colocarse por lo menos una barra No. 3 (9.5mm. de diámetro) con esfuerzo especificado de fluencia de 4200Kg./cm<sup>2</sup>, o refuerzo de otras características con resistencia a tensión equivalente, en cada una de dos celdas consecutivas, en todo extremo de muros, en la intersecciones entre muros o a cada 3 m. (ver fig. 3.14).

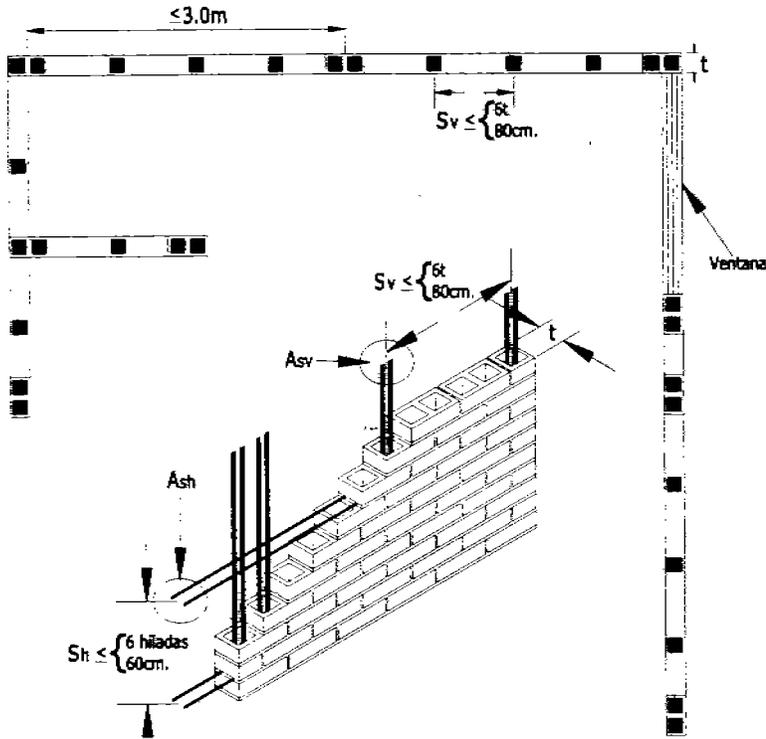


Figura 3.14 REQUISITOS PARA MAMPOSTERÍA CON REFUERZO INTERIOR

### Mortero y concreto de relleno

Para el colado de las celdas donde se aloje el refuerzo vertical podrán emplearse los siguientes morteros y concretos de relleno especificados.

Los morteros y concretos de relleno que se emplean en elementos estructurales de mampostería para rellenar celdas de piezas huecas deberán cumplir con lo mencionado con anterioridad:

- Su resistencia a compresión será por lo menos de  $125\text{Kg./cm}^2$ .
- El tamaño máximo del agregado no excederá de 10 mm.



- c) Se empleará la mínima cantidad de agua que permita que la mezcla sea lo suficientemente fluida para rellenar las celdas y cubrir completamente las barras de refuerzo vertical, en el caso de que se cuente con refuerzo interior. Se aceptará el uso de aditivos que mejoren la trabajabilidad.

De igual manera se podrá utilizar el mismo mortero que se usa para pegar las piezas, si es del tipo I, dicho mortero debe cumplir con las siguientes características:

- 1) Siempre deberán contener cemento en la cantidad mínima indicada en la tabla 3.5.
- 2) La relación volumétrica entre la arena y la suma de cementantes se encontrará entre 2.25 y 3. El volumen de arena se medirá en estado suelto.
- 3) Se empleará la mínima cantidad de agua que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable.

Si el mortero incluye cemento de albañilería, la cantidad máxima de éste, a usar en combinación con cemento, será la indicada en la tabla 3.5.

*Tabla 3.5 Proporcionamiento, en volumen, recomendado para mortero en elementos estructurales tipo I*

Tipo de mortero	Partes de cemento hidráulico	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal hidratada	Partes de arena <sup>1</sup>	Resistencia nominal en compresión, $f'_c$ , Kg./cm <sup>2</sup>
I	1	—	0 a ¼	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen	125
	1	0 a ½	—		

<sup>1</sup> El volumen de arena se medirá en estado suelto.

El hueco de las piezas (celda) tendrá una dimensión mínima mayor de 5cm. y un área no menor de 30cm<sup>2</sup>.

### Muros transversales

Cuando los muros transversales sean de carga y lleguen a tope, sin traslape de piezas, será necesario unirlos mediante dispositivos que aseguren la continuidad de la estructura (fig. 3.15). La separación  $s$  no deberá exceder de 30cm.

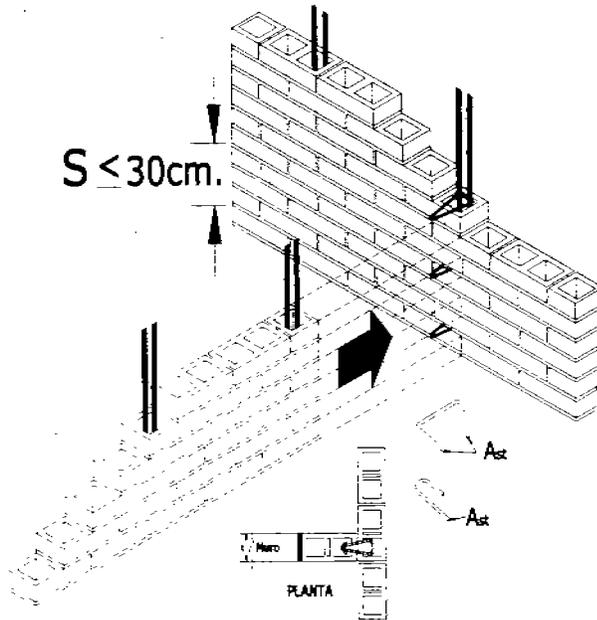


Figura 3.15 CONECTORES ENTRE MUROS SIN TRASLAPE DE PIEZAS

### Muros con aberturas

Deberán existir elementos de refuerzo vertical y horizontal en el perímetro de toda abertura cuya dimensión exceda de la cuarta parte de la longitud del muro, así como también supere la cuarta parte de la distancia entre intersecciones de muros o de 60cm., o bien en aberturas con altura igual a la del muro (fig. 3.16).

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

El espesor de la mampostería de los muros,  $t$ , no será menor que 10cm. y la relación altura a espesor de la mampostería del muro,  $H/t$ , no excederá de 30.

### Pretilos

Los pretilos o parapetos deberán reforzarse interiormente con barras de refuerzo vertical como las especificadas anteriormente. Se deberá proporcionar refuerzo horizontal en la parte superior de pretilos o parapetos cuya altura sea superior a 50cm. de acuerdo con (fig. 3.16).

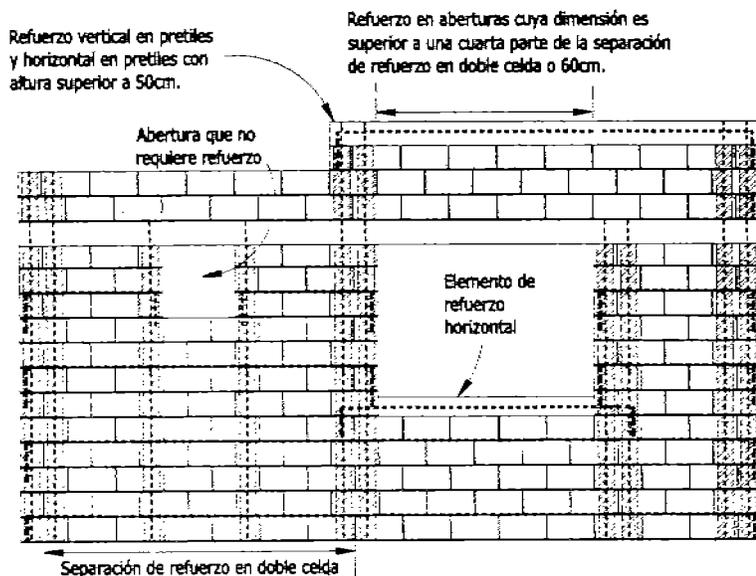


Figura 3.16 REFUERZO EN ABERTURAS Y PRETILES

## Supervisión

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

## 3.4. MAMPOSTERÍA NO CONFINADA NI REFORZADA

### Alcance

Se considerarán como muros no confinados ni reforzados aquéllos que, aun contando con algún tipo de refuerzo interior o confinamiento (exterior o interior), no tengan el refuerzo necesario para ser incluidos en alguna de las categorías descritas con anterioridad.

Se trata esencialmente del tipo de mampostería más antiguo que existe. Los ejemplos más comunes son las construcciones tradicionales de adobe de barro o las mamposterías de piezas en las esquinas. En las zonas rurales de México, por ejemplo, aún existen y se siguen construyendo viviendas de adobe.

Los muros de mampostería no reforzada 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. La mampostería no reforzada que es aquella



que no tiene refuerzo en el interior de las piezas o bien no tiene refuerzo adosado a las piezas, ya sea embebido entre el mortero que une las piezas (como por ejemplo en el caso de la escalerilla o de varillas de acero coladas entre hiladas), o bien cuando este adosado a una o ambas caras exteriores del muro (como en el caso de mallas electro soldadas clavadas a la mampostería y embebidas en el recubrimiento de mortero).

Existe una gran cantidad de características geométricas y de materiales tanto de las piezas como de los morteros, lo que dificulta 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.

El comportamiento de la mampostería se ha estudiado principalmente a través de ensayos de especímenes en escala natural para los materiales y las sollicitaciones más usuales. Sin embargo, si se pretende establecer criterios generales para predecir el comportamiento mecánico de la mampostería, es necesario estudiar sus mecanismos de falla ante las sollicitaciones básicas y determinar sus propiedades mecánicas elementales; esto puede efectuarse mediante ensayos simples en pequeños conjuntos de piezas y mortero.

### **Refuerzo por integridad estructural**

Con objeto de mejorar la redundancia y capacidad de deformación de la estructura, en todo muro de carga se dispondrá de refuerzo por integridad con las cuantías y características indicadas en las siguientes secciones. El refuerzo por integridad estará alojado en secciones rectangulares de concreto reforzado de cuando menos 5cm. de lado. No se aceptarán detalles de uniones entre muros y entre muros y sistemas de piso / techo que dependan exclusivamente de cargas gravitacionales.

Optativamente, se puede cumplir con lo indicado en las siguientes secciones.

#### **Refuerzo vertical**

Los muros serán reforzados en sus extremos, en intersección de muros y a cada 4m con al menos dos barras o alambres de acero de refuerzo continuos en la altura de la estructura. Las barras deberán estar adecuadamente ancladas para alcanzar su esfuerzo especificado de fluencia,  $f_y$ .

En todos los pisos se colocarán como mínimo dos muros de carga perimetrales paralelos con longitud total al menos igual a la mitad de la dimensión de la planta del edificio en la dirección de análisis (fig. 3.17).

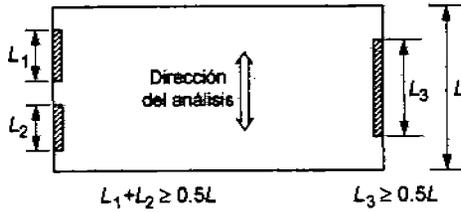


Figura 3.17 REQUISITOS SOBRE MUROS DE CARGA PERIMETRALES PARALELOS

### Refuerzo horizontal

Se deberán suministrar al menos dos barras o alambres de acero de refuerzo continuos en la longitud de los muros colocados en la unión de éstos con los sistemas de piso y techo.

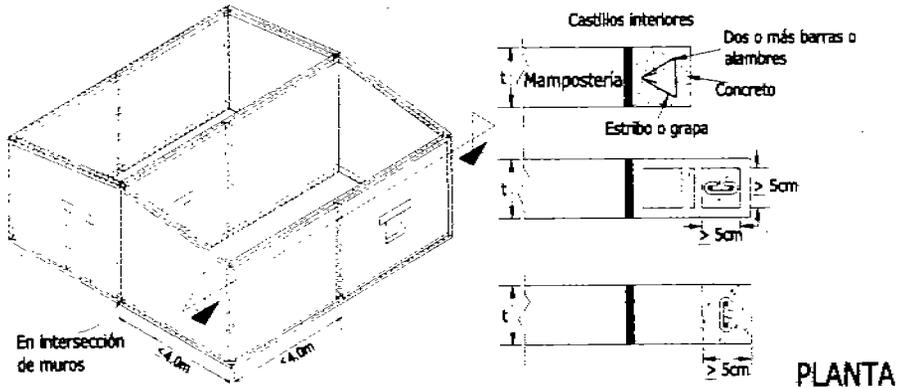


Figura 3.18 REFUERZO POR INTEGRIDAD

### Refuerzo transversal

Se deberá colocar refuerzo transversal en forma de estribos o grapas (fig. 3.18) con una separación máxima de 20cm. y con un diámetro de al menos 0.34cm (calibre 10).



### 3.5. MAMPOSTERÍA DE PIEDRAS NATURALES

#### Alcance

Esta sección se refiere esencialmente a cimientos, muros de retención y otros elementos estructurales de mampostería del tipo conocido como de tercera, o sea, formado por piedras naturales sin labrar unidas por mortero.

#### Materiales

##### Piedras

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

- a) Su resistencia mínima a compresión en dirección normal a los planos de formación sea de  $150\text{Kg./cm}^2$ ;
- b) Su resistencia mínima a compresión en dirección paralela a los planos de formación sea de  $100\text{Kg./cm}^2$ ;
- c) La absorción máxima sea de 4 por ciento; y
- d) Su resistencia al intemperismo, medida como la máxima pérdida de peso después de cinco ciclos en solución saturada de sulfato de sodio, sea del 10 por ciento.

Las piedras no necesitarán ser labradas, pero se evitará, en lo posible, el empleo de piedras de formas redondeadas y de cantos rodados. Por lo menos, el 70 por ciento del volumen del elemento estará constituido por piedras con un peso mínimo de  $30\text{Kg.}$ , cada una.

##### Morteros

Los morteros que se empleen para mampostería de piedras naturales deberán ser al menos del tipo III (tabla 3.6), de manera tal que la resistencia mínima en compresión sea de  $40\text{Kg./cm}^2$ .



Tabla 3.6 Proporciones de cementos, en volumen, recomendados para mortero en elementos estructurales

Tipo de mortero	Partes de cemento hidráulico	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal hidratada	Partes de arena <sup>1</sup>	Resistencia nominal en compresión, $f_j^*$ , Kg/cm <sup>2</sup>
I	1	—	0 a ¼	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen	125
	1	0 a ½	—		
II	1	—	¼ a ½		75
	1	½ a 1	—		
III	1	—	½ a 1¼		40

<sup>1</sup> El volumen de arena se medirá en estado suelto.

La resistencia se determinará según lo especificado en la norma NMX-C-061-ONNCE.

## Cimientos

### Cimientos de piedra braza

En cimientos de piedra braza la pendiente de las caras inclinadas (escarpio), medida desde la arista de la dala o muro, no será menor que 1.5: 1 (fig. 3.19).

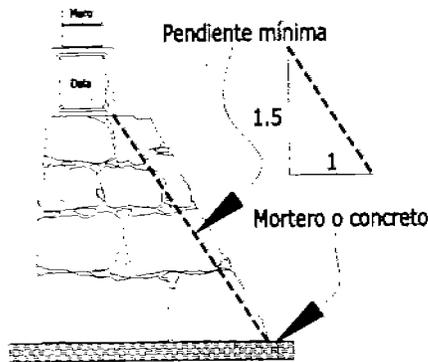


Figura 3.19 CIMIENTOS DE PIEDRA

En cimientos de mampostería de forma trapezoidal con un talud vertical y el otro inclinado, tales como cimientos de lindero, deberá verificarse la estabilidad del cimiento a



torsión. De no efectuarse esta verificación, deberán existir cimientos perpendiculares a separaciones no mayores de las que señala la tabla 3.7.

*Tabla 3.7 Separación máxima de cimientos perpendiculares a cimientos donde no se revise la estabilidad a torsión*

Presión de contacto con el terreno, Kg./m <sup>2</sup>		Claro máximo, m
menos de 2000		10.0
más de 2000	hasta 2500	9.0
más de 2500	hasta 3000	7.5
más de 3000	hasta 4000	6.0
más de 4000	hasta 5000	4.5

En la tabla 3.7, el claro máximo permisible se refiere a la distancia entre los ejes de los cimientos perpendiculares, menos el promedio de los anchos medios de éstos.

En todo cimiento deberán colocarse dalas de concreto reforzado, tanto sobre los cimientos sujetos a momento de volteo como sobre los perpendiculares a ellos. Los castillos deben empotrarse en los cimientos no menos de 40cm.

En el diseño se deberá considerar la pérdida de área debido al cruce de los cimientos.

### **Cimientos de mampostería y concreto armado (mixto)**

Se puede observar que cuando existen cargas muy pesadas, el cimiento macizo de piedra, resulta inconveniente ya que al tener un ancho grande y debido al ángulo mínimo de 60° en el escarpio, requiere una altura considerable.

En este caso conviene fabricar un cimiento mixto de piedra y concreto reforzado. Rodapié de piedra y zapata corrida de concreto reforzado; suponiendo que el terreno permite dar profundidad mínima de cimiento, dando un ancho de rodapié de 30cm y a la zapata corrida de concreto reforzado

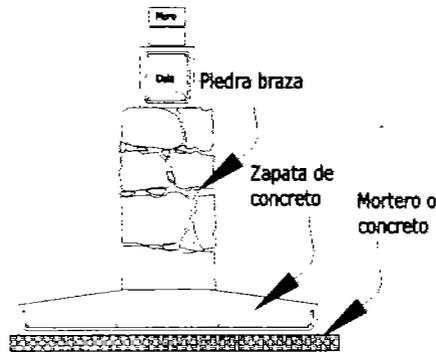


Figura 3.20 CIMENTOS MIXTOS

### Tipo de relleno

Los rellenos no incluirán materiales degradables ni compresibles y deberán compactarse de modo que sus cambios volumétricos por peso propio, por saturación y por las acciones externas a que estarán sometidos, no causen daños intolerables a los pavimentos ni a las instalaciones estructurales alojadas en ellos o colocadas sobre los mismos.

## 3.6. MUROS DE CONTENCIÓN

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

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

## 3.7. OTROS

La normatividad en México permite diseñar y considerar otros tipos de refuerzo o modalidades constructivas de mampostería siempre que se demuestre analítica y experimentalmente que cumplen con los requisitos de seguridad estructural que marca el Reglamento y sus Normas Técnicas respectivas.

Existe otro tipo no menos importante de elementos de mampostería, que por su función se identifican como no estructurales.

## **CAPÍTULO 4**

### **ASPECTOS CONSTRUCTIVOS EN LA VIVIENDA DE MAMPOSTERÍA**



## INTRODUCCIÓN

La mampostería es más dependiente que otros materiales estructurales de la calidad de la construcción; es común, en la construcción de vivienda descuidar el control de componentes, de las técnicas constructivas o de la calidad de la mano de obra. Además, la tendencia a acelerar y simplificar las construcciones, y la frecuente subestimación de la importancia que asigna el constructor a la vivienda de interés social, ha conducido a degradar la artesanía tradicional. La escasez de cursos universitarios de mampostería, y la falta de preparación de operarios cuya única preocupación es la de "avanzar", ha impedido crear una adecuada escuela de construcción, por lo que es indispensable una buena supervisión.

En términos generales, la construcción a base de mampostería deberá cumplir con las especificaciones del proyecto estructural, arquitectónico y de instalaciones. Es muy importante que el constructor (y su residente) conozcan los aspectos neurálgicos del proyecto estructural, para como mínimo centralizar su atención en ellos. En adición al control detallado de la calidad de los insumos, y a las obvias disposiciones relativas a la correcta geometría de la construcción, en cuanto al aplomo y alineamiento de los muros, se presenta a continuación una breve descripción de algunos aspectos que requieren ser considerados en forma detallada.

### 4.1. CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN

#### Estudio de mecánica de suelos

Antes de pensar en la construcción, debemos pensar en la necesidad de contar con un estudio de mecánica de suelos que proporcione la información necesaria y suficiente para llevar a cabo un buen proyecto estructural. Este aspecto es también crítico en el ambiente constructivo, puesto que el constructor ve este estudio como un gasto y no como una inversión que va a garantizar su seguridad y economía.

Las características deseables de un estudio de mecánica de suelos se relacionan a continuación.

- Exploración del suelo suficiente (en número y profundidad), de acuerdo con el RCDF04. Instalación piezométrica.
- Ensayes de laboratorio suficientes para determinar los parámetros de resistencia y compresibilidad del suelo.



- Análisis de capacidad de carga del suelo de cimentación y cálculo de hundimientos (elásticos y a largo plazo).
- Recomendaciones del tipo de cimentación, capacidad de carga y profundidad de desplante; procedimiento constructivo, protección a colindancias, detección de cavernas en zonas minadas, empujes en muros de contención o en contra-trabes exteriores de un cajón de cimentación, etc.

## **Plantillas**

Son necesarias para proporcionar una superficie limpia y más o menos lisa, y evitar la contaminación del concreto; Es usual construirlas de 5cm. de espesor con concreto de  $f'c=100 \text{ Kg./cm}^2$ ; actualmente se utilizan substitutos como las geomembranas y por los suelo cementos, que tiene ventajas económicas.

## **Número y posición del acero de refuerzo en los elementos estructurales de la cimentación, dimensiones de las secciones transversales de los elementos estructurales**

Es usual la utilización de elementos prefabricados de acero (para secciones transversales de contra-trabes relativamente pequeñas), malla electrosoldada en el lecho superior de losa de cimentación (que es muy flexible), bastones en el lecho inferior sobre los apoyos. Deberán cuidarse anclajes y traslapes, recubrimientos, etc.

## **Anclaje de castillos en la cimentación**

Es muy importante que el anclaje de los castillos sea adecuado, ya que usualmente se corrigen las deficiencias de posición con dobleces del acero que no cumplen con lo especificado en capítulos anteriores.

Es de suma importancia que el empotre de los castillos o columnas con la cimentación sea superior a los 40cm.

## **4.2. CONSTRUCCIÓN DE FIRMES**

Es conveniente que los firmes se cuelen en áreas no mayores de  $15\text{m}^2$ , y que tengan el acero mínimo necesario para cambios de temperatura. Es común armarlos con malla en el lecho superior y concreto de  $f'c=150\text{Kg./cm}^2$  En el caso de cimentación de losa corrida; ésta funge como firme, lo cual puede llegar a presenta una ventaja económica.



### **4.3. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LOS MATERIALES**

Es necesario que las piezas para muros se transporten cuidadosamente para evitar rajaduras y despostilladuras; algunas empresas transportan su material en "pallets" protegidos con plástico y lo colocan hasta en un segundo nivel por medio de grúas, lo cual representa una buena opción de almacenamiento temporal. Las piezas de bloque hueco de concreto deben protegerse con plástico y almacenarse sobre madera, para evitar el contacto con la humedad. Los cementos y las cales deben estar protegidos del agua y la intemperie durante su transporte y almacenamiento.

Si el cemento ha sido almacenado durante más de 30 días, deberán hacerse ensayos de fraguado y de resistencia para aprobar su utilización.

### **4.4. TRATAMIENTO DE LA SUCCIÓN DE LAS PIEZAS**

La succión es necesaria para lograr el íntimo contacto del mortero con la unidad de mampostería. Sin embargo, cuando es excesiva debe ser controlada mediante el humedecimiento previo al asentado de la unidad o pieza, ya que de lo contrario, causará efectos negativos, por la excesiva succión de agua, que hará la pieza de mampostería y descompensará la mezcla de mortero o concreto, afectando así el fraguado por la pérdida de agua a causa de la succión y la reacción térmica. En casos extremos endurecerá y deformará la superficie plana del mortero sobre la que asienta la siguiente hilada, impidiendo todo contacto; y en casos menos severos, reducirá la cantidad de agua disponible para la unidad de arriba, impidiendo lograr una buena adherencia en la interfase mortero-unidad.

Muchas piezas de arcilla tienen una succión natural excesiva, que debe ser modificada mediante un humedecimiento previo para lograr una succión óptima en el momento del asentado. En consecuencia, es importante determinar la succión de las unidades, y precisar si será necesario un tratamiento con el propósito de reducir la succión al momento del asentado. Las unidades que tienen succiones de 20gramos o menos no deben ser humedecidas.

Las unidades de concreto y sílice-cal nunca deben de asentarse húmedas, debido a que tienen succiones en un rango adecuado, y una vez instaladas en el muro, sufrirán las consecuentes contracciones de secado que tenderán a agrietar el muro. Sin embargo, la limpieza del polvo superficial es indispensable en todas las unidades.



## 4.5. ESPESOR DE LAS HILADAS Y ACABADO DE LAS JUNTAS

Debe determinarse en función de la variabilidad dimensional de la altura de la pieza de mampostería y del espesor mínimo recomendable del mortero para lograr una correcta adherencia. Para condiciones normales de asentado, el espesor de la junta está entre 1 y 1.5cm. No son aceptables, juntas de mortero excesivas, porque reducen la resistencia a la compresión de la mampostería; tampoco lo son aquellas que sean muy delgadas porque reducen su resistencia a la tensión. A este respecto, véase la Figura siguiente

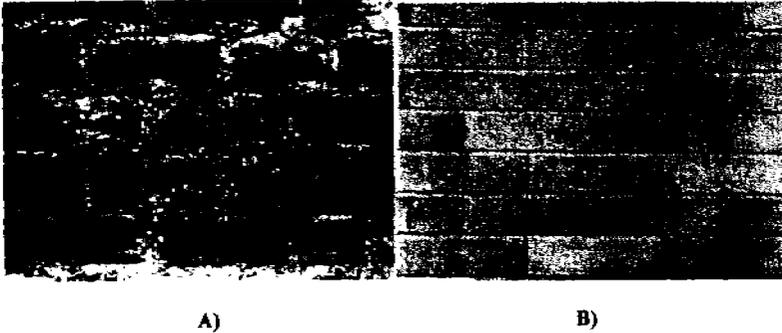


Figura 4.1. MUROS DE MAMPOSTERÍA DEFICIENTES. A) JUNTAS DE MORTERO DE ESPESOR EXCESIVO, B) JUNTAS DE MORTERO DE MUY PEQUEÑO ESPESOR.

Las juntas de mortero horizontales y verticales deben ser tratadas una vez terminada una parte del asentado del muro y mientras el mortero está aún plástico.

Además de la calidad estética, el acabado de las juntas es importante para darle impermeabilidad al muro. Existen acabados de juntas recomendables para exteriores o interiores, y otros sólo para interiores, ya que tienden a retener agua. Las formas comunes de acabado de las juntas se muestran en la figura 2. Las juntas señaladas como "no recomendables" en esta figura tienden a retener agua e intemperizar al muro.

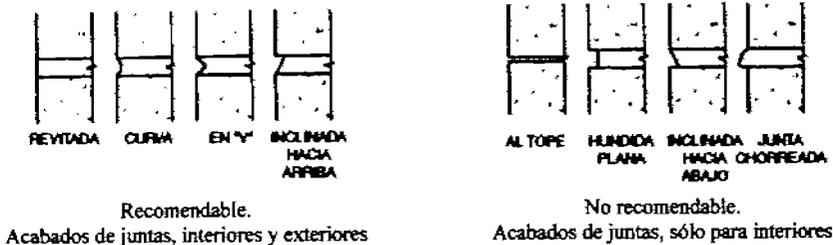


Figura 4.2. ACABADO DE LAS JUNTAS DE MORTERO



Para el acabado de las juntas se utilizan ranuradores fabricados específicamente para cada tipo de junta, consisten en varillas o perfiles de acero, aluminio o madera, ligeramente angulados en sus extremos y cuya geometría exterior por el lado convexo, corresponde al del tipo de acabado. Si son simétricos se les adosa un asa para poderlos tomar del centro. Si sólo se va a utilizar el perfil, uno de los extremos tendrá un doble doblez para poderlo tomar por éste.

#### 4.6. FABRICACIÓN DEL MORTERO EN OBRAS PEQUEÑAS Y EN OBRAS GRANDES

Siempre será deseable la fabricación controlada de los morteros por medios mecánicos, y en el caso de obras grandes fabricado de manera centralizada, con total control del proporcionamiento especificado, para distribuir hacia los diversos frentes. Tradicionalmente la consistencia del mortero la define el operario, y se adecúa para mantener la adherencia y cohesión necesarias que permitan esparcirlo en las caras de la unidad.

La consistencia del mortero debe mantenerse durante el proceso de construcción, remezclándolo y añadiéndole agua si es necesario. Los morteros a base de cemento Pórtland deberán usarse dentro de un límite que no exceda el tiempo de fraguado inicial del cemento.

El asentado de las piezas o unidades debe garantizar la máxima adherencia y el llenado completo de las juntas horizontales y verticales. El asentado, como se ha dicho, implica presión, debiendo evitarse el bamboleo de la unidad o retirarla y volverla a poner, para ajustarla al nivel requerido (Figura 3). Esto se debe, a que la adherencia se logra en el primer contacto, por lo que cualquier despegue parcial o total la destruye irremediablemente.

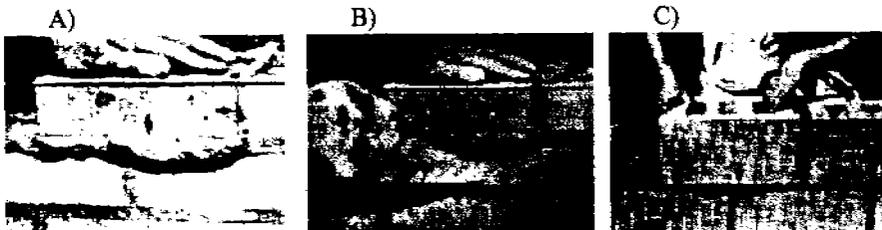


Figura 4.3. PROCESO DE ASENTADO DE TABIQUES Y BLOQUES: A) PRESIÓN VERTICAL, B) PRESIÓN HORIZONTAL Y RETIRO DEL MORTERO EXCEDENTE, Y C) PRESIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL.

Los morteros deberán cumplir con lo siguiente:



- 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 h. 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 Pórtland ordinario deberán usarse dentro del lapso de 2.5 horas a partir del mezclado inicial. En climas fríos se sugiere un lapso máximo de 2 horas desde la primera adición de agua, y de una hora en climas cálidos. Con el uso de la cal se obtiene mayor trabajabilidad del mortero. Es usual utilizar aditivos retardantes que permitan usar el mortero a lo largo de más tiempo.
- d) Revenimiento de morteros y concretos de relleno. Se deberán proporcionar de modo que alcancen el revenimiento señalado en los planos de construcción. Se deberán satisfacer los revenimientos y las tolerancias recomendados para morteros y concretos de relleno según la absorción de las piezas.

**Tabla 4.1** Revenimiento permisible para los morteros y concretos de relleno, en función de la absorción de la pieza

Absorción de la pieza, %	Revenimiento nominal <sup>1</sup> , cm.
8 a 10	15
10 a 15	17.5
15 a 20	20

<sup>1</sup> Se aceptan los revenimientos con una tolerancia de  $\pm 2.5$  cm.

Los concretos para el colado de elementos de refuerzo, interiores o exteriores al muro, tendrán la cantidad de agua que asegure una consistencia líquida sin segregación de los materiales constituyentes. Se aceptará el uso de aditivos que mejoren la trabajabilidad. El tamaño máximo del agregado será de 10mm.

En la tabla 4.2 se muestran las relaciones volumétricas recomendadas entre los distintos componentes.

**Tabla 4.2** Proporcionamientos, en volumen, recomendados para morteros y concretos de relleno en elementos estructurales

Tipo	Partes de	Partes de	Partes de
	cal	arena <sup>1</sup>	grava



	cemento hidráulico	hidratada		
Mortero	1	0 a 0.25	2.25 a 3	—
Concreto	1	0 a 0.1	2.25 a 3	1 a 2

<sup>1</sup> El volumen de arena se medirá en estado suelto.

## 4.7. CONSTRUCCIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

Además del cuidado que se debe tener en el espesor de las juntas de mortero, éste debe colocarse en todas las caras; en el caso del ladrillo multiperforado debe ser suficientemente denso para que penetre en los alvéolos no más de la cuarta parte de la altura de la pieza garantizando así la creación de llaves de cortante. Las primeras hiladas son las más importantes (plomos, hilos, cuatrapeos). En los muros de tabique rojo recocido deberá practicarse el dentado en la zona de castillos exteriores (Figura 4), o bien, que se coloquen conectores metálicos o refuerzo horizontal, para garantizar la trabazón del tabique y el concreto. El colado del castillo se hará una vez construido el muro o la parte de él que corresponda.

Las piezas de mampostería deberán ser colocadas en forma cuatropeada para garantizar su buen funcionamiento.

Durante la construcción de muros con refuerzo interior, deben tomarse precauciones para que la colocación del concreto líquido o mortero garantice un llenado total. Estas precauciones consisten, además de cuidar la fluidez del mortero o concreto líquido, en mantener los alvéolos verticales de las piezas limpios, sin mortero u otras sustancias.

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

a) 50cm., si el área de la celda es de hasta 80 cm<sup>2</sup>; o



Figura 4.4. DENTADO DE UN MURO DE TABIQUE RECOCIDO PARA GARANTIZAR EL "AMARRE" CON LOS CASTILLOS DE CONFINAMIENTO.



b) 1.5m, si el área de la celda es mayor que  $80 \text{ cm}^2$ .

Si por razones constructivas se interrumpiera la construcción del muro en ese día, el concreto o mortero de relleno deberá alcanzar hasta la mitad de la altura de la pieza de la última hilada.

No es necesario llenar totalmente las perforaciones de las piezas multiperforadas.

En muros con piezas huecas y multiperforadas sólo se rellenarán las celdas de las primeras.

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

Las pequeñas dimensiones de los castillos en muros confinados, y la presencia de los ganchos de los estribos, requieren que el concreto tenga un revenimiento recomendado de 12cm., y que se utilicen agregados con tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ ", además de colocar el concreto con una buena técnica de vibración. Con lo anterior se garantiza que el concreto llene todos los huecos, para evitar la formación de oquedades que pueden disminuir la resistencia al corte.

Es necesario que durante el proceso de obra se lleven a cabo los ensayos de laboratorio para garantizar los valores de resistencia de los materiales ( $f^*p$ ,  $f^*m$ ,  $v^*$ ,  $f^*c$ ).

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

- a) La dimensión de la sección transversal de un muro que cumpla alguna función estructural o que sea de fachada no será menor de 10cm.
- b) Todos los muros que se toquen o crucen deberán anclarse o ligarse entre sí, salvo que se tomen precauciones que garanticen su estabilidad y buen funcionamiento.
- c) Los muros de fachada que reciban recubrimiento de materiales pétreos naturales o artificiales deberán llevar elementos suficientes de liga y anclaje para soportar dichos recubrimientos.



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

## **Tolerancias**

- a). En ningún punto el eje de un muro que tenga función estructural distará más de 2cm. del indicado en los planos.
- b). El desplomo de un muro no será mayor que 0.004 veces su altura ni 1.5cm.

## **Refuerzo**

El refuerzo se colocará de manera que se asegure que se mantenga fijo durante el colado. No se admitirá traslape de barras de refuerzo colocadas en juntas horizontales, ni traslape de mallas de alambre soldado en una sección vertical del muro, ni de refuerzo vertical en muros de mampostería reforzada interiormente en la altura calculada de la articulación plástica por flexión.

## **Construcción de mampostería de piedras naturales**

### **Piedras**

Las piedras que se emplean deberán estar limpias y sin rajaduras. No se emplearán piedras que presentan forma de laja. Las piedras se mojarán antes de usarlas.

### **Procedimiento constructivo**

La mampostería se desplantará sobre una plantilla de mortero o concreto que permita obtener una superficie plana. En las primeras hiladas se colocarán las piedras de mayores dimensiones y las mejores caras de las piedras se aprovecharán para los paramentos. Cuando las piedras sean de origen sedimentario se colocarán de manera que los lechos de estratificación queden normales a la dirección de las compresiones. Las piedras deberán humedecerse antes de colocarlas y se acomodarán de manera de llenar lo mejor posible el hueco formado por las otras piedras. Los vacíos se rellenarán completamente con piedra chica y mortero. Deberán usarse piedras a tizón (con la dirección más larga de la piedra colocada perpendicularmente al paramento), que ocuparán por lo menos una quinta parte del área del paramento y estarán distribuidas en forma regular. No deberán existir planos definidos de falla transversales al elemento. Se respetarán, además los requisitos mencionados anteriormente y que sean aplicables.



## **Construcción de mampostería de adobe**

### **Selección de las tierras**

#### **Suelos apropiados**

La tierra para fabricar adobes debe estar formada por 25 a 45% de limos y arcillas y el resto de arenas. La proporción máxima de arcilla será del 15 al 17%. La tierra no debe ser de cultivo y debe hacerse pruebas de selección.

Se pueden identificar fácilmente las tierras inadecuadas para la fabricación del adobe por su color y sabor.

La tierra con materia orgánica presenta un color negrusco.

La tierra salitrosa presenta un color blanquecino y salado.

#### **Pruebas de selección**

Son pruebas cuyo resultado nos dará a conocer la calidad de la tierra analizada y si es apropiada para fabricar adobes.

Una vez seleccionada la cantera mediante las pruebas que a continuación se indican; es recomendable, antes de proceder a la producción masiva de adobes, fabricar adobes de prueba y efectuar el control de calidad correspondiente.

#### **Prueba granulométrica (Prueba de la botella)**

Sirve para determinar la proporción de los componentes principales (arena, limos y arcillas) de la tierra. Su procedimiento es el siguiente:

Llenar con tierra tamizada (tamiz del # 4) una botella de boca ancha de un litro de capacidad hasta la mitad de su altura.

Llenar la parte restante con agua limpia.

Agitar vigorosamente la botella hasta que todas las partículas de la tierra estén en suspensión.

Poner la botella sobre una mesa y esperar que todas las partículas de arena reposen al fondo. Las partículas de arena reposan inmediatamente. Las partículas de limos y arcillas durante algunas horas.



Finalmente medir las capas para determinar la proporción de arena y limos con arcilla. Se recomienda que la cantidad de arena fluctúe entre 1.5 y 3 veces la cantidad de limo y arcilla.

#### **Prueba de plasticidad (Prueba de rollo)**

Sirve para determinar la calidad de la tierra y nos permite saber si esta es arcillosa, arenosa o arcillo-arenosa.

Consisten formar con tierra húmeda un rollo de 1.5cm de diámetro, suspenderlo en el aire y medir la longitud en que este se rompe.

Se presentan tres casos:

1 **Tierra arenosa (inadecuada)**. Cuando el rollo se rompe antes de alcanzar los cinco centímetros

2 **Tierra arcillo-arenosa (adecuada)**. Cuando el rollo se rompe al alcanzar una longitud entre los cinco y los quince centímetros.

3 **Tierra arcillosa (inadecuada)**. Cuando el rollo alcanza una longitud mayor a los quince centímetros.

#### **Prueba de resistencia (Prueba del disco)**

Consiste en amasar tierra húmeda y formar 5 discos de 3cm de diámetro y 1.5cm de altura. Dejarlos secar 48 horas y después tratar de romperlos.

Se presenta dos casos.

**BAJA RESISTENCIA (inadecuado)**: Cuando el disco se aplasta fácilmente

**MEDIA O ALTA RESISTENCIA (adecuado)**: Cuando el disco se aplasta con dificultad o se rompe con un sonido seco.

### **Estabilización de suelos**

La arcilla en presencia de humedad experimenta cambios de volumen que son necesarios controlar; aumenta cuando tiene agua y disminuye cuando se seca. Este fenómeno origina la erosión de los adobes y por lo tanto la pérdida de estabilidad y resistencia de los muros.



En nuestros medios se utilizan como estabilizadores para impermeabilizar el adobe los siguientes productos industriales: asfalto (en una proporción del 1 al 3%), cemento (10 a 12%) o cal (15 a 20%). Estos productos elevan la calidad del adobe pero elevan su costo de 3 a 5 veces. Una alternativa es utilizar estabilizadores, únicamente en la tierra que será destinada al tartajeo de muros.

Otra alternativa de disminuir los costos, sería utilizar estabilizadores de procedencia vegetal, que constituyen recursos locales de las zonas en que los apliquen.

## **Fabricación del adobe**

### **Dimensionamiento del adobe**

En vista de que las dimensiones de los adobes son variadas, solo es conveniente sobre este tema algunas recomendaciones de carácter general.

- La longitud no debe ser mayor que el doble de su ancho más el espesor de una junta de pega. Tanto la longitud, como el ancho tendrá una longitud máxima de 40cm.
- La altura no debe ser mayor de 10cm en lo posible.
- La relación entre la longitud y la altura debe ser aproximadamente entre 4 y 1 para permitir un traslape horizontal en proporción 2 a 1, lo cual brinda seguridad ante el efecto de corte producido por los sismos

Por facilidades constructivas y de comportamiento mecánico se recomienda la forma cuadrada del adobe y las dimensiones más adecuadas para su fabricación son: 38cm X 38cm X 8cm, pues al añadir mortero de pega con espesor promedio de 2cm, sus dimensiones finales serían: 40cm X 38cm X 10cm.

### **Preparación del barro**

Remojar el suelo y retirar las piedras mayores de 5mm u otros elementos extraños. Mantener el suelo húmedo en reposo durante 24 horas, lo cual facilita el mezclado.

### **Mezclado**

Agregar al barro la cantidad de agua necesaria y realizar el mezclado con palas y rastrillos o con los pies, pisando y caminando enérgicamente.

Agregar a la mezcla materias inertes compuestas por fibras de paja o pasto seco en una proporción del 20% en volumen. En caso de utilizar asfalto como estabilizador, incorporarlo a la mezcla antes de la paja y mezclarlo adecuadamente hasta que desaparezcan las manchas de asfalto.



Antes de realizar el moldeo, se recomienda verificar la humedad correcta de la mezcla mediante la siguiente prueba

- Tomar un puño de la mezcla y hacer una bola.
- Dejarla caer al suelo desde una altura de 1 m.
- Si se rompe en pocos pedazos grandes, hay suficiente agua; si se aplasta sin romperse, hay demasiada agua; y si se pulveriza en muchos pedazos pequeños le falta agua.

### **Moldeo**

El moldeo puede ser el tradicional, utilizando moldes sin fondo y vaciando la mezcla sobre el molde directamente sobre el tendal, o también utilizando moldes con fondo, que permite producir adobes más uniformes, más resistentes y de mejor presentación.

El fondo del molde debe hacerse con un acabado rugoso y con ranuras de aproximadamente 2mm en los extremos.

Los moldes serán de madera cepillada de buena calidad; puede prolongarse su vida útil protegiendo los bordes con zunchos metálicos.

Para la fabricación de los moldes, debe considerarse el encogimiento del adobe durante el secado, el cual puede determinarse con adobes de prueba, de tal manera que el adobe seco corresponda a las dimensiones previstas en el diseño.

El moldeo se efectúa de la siguiente manera:

- Lavar el molde y esparcir arena fina en sus caras interiores antes de cada uso.
- Formar una bola con el barro y tirarla con fuerza al molde. Esta debe ser lo suficientemente grande para llenar toda la capacidad del molde, por que no deberán hacerse rellenos posteriores.
- Para cortar los excesos de mezcla y emparejar la superficie se utilizara una regla de madera.
- Desmoldar con suaves sacudidas verticales.



- Si al retirar el molde, el adobe se deforma o se comba es porque el barro tiene mucha agua. Si el adobe se raja o se quiebra es porque el barro está muy seco.

#### **Secado y almacenamiento**

Para el secado de los adobes, utilizar una superficie horizontal, limpia y libre de impurezas orgánicas o sales. Este tendal deberá poder albergar la producción de una semana, tendrá que ser techado en épocas muy calurosas o lluviosas.

Espolvorear arena fina sobre toda la superficie del tendal para evitar que se peguen los adobes.

Luego de tres días los adobes se podrán poner en canto y al cabo de una semana se deberán apilar.

#### **Control de calidad**

Si a las cuatro semanas el adobe de prueba presenta grietas o deformaciones, se debe agregar paja al barro.

Si a las cuatro semanas el adobe de prueba no resiste el peso de un hombre, se debe agregar arcilla al barro.

### **Aspectos constructivos**

#### **Ubicación y preparación del terreno**

##### *Ubicación del terreno*

El terreno de cimentación debe corresponder en lo posible a suelo firme (a suelo Tipo I), no se construirá en suelos blandos (suelos Tipo III) ni en terrenos cuya capacidad portante sea menor que  $1.5 \text{ Kg./cm}^2$ .

Debe evitarse construir en zonas próximas a los pantanos, ríos, mar, en zonas de relleno y zonas de contacto; tampoco se construirá en zonas bajas, ni en terrenos con mucha pendiente.

##### *Preparación del terreno*

Las actividades preliminares de una construcción de adobe, son las comunes en toda obra, limpieza, nivelación y trazo.



## Cimentación

La cimentación y sobrecimientos para los muros de adobe siguen los mismos procesos de ejecución constructiva que se realiza para una construcción convencional.

La zanja para el cimiento debe tener una profundidad mínima de 40cm y ser por lo menos 20cm más ancha que el muro que va a construirse.

El escarpio de los cimientos no será menor que 1.5:1.

El sobrecimiento será de concreto ciclópeo con una altura mínima de 25cm o concreto armado de al menos 10cm de altura, estos sobre el nivel del suelo, para proteger a las primeras hiladas del adobe de la erosión provocada por las lluvias.

## Muros

### *Normas básicas*

#### *CRITERIOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE MUROS*

La longitud del muro tomado entre dos contrafuertes, o dos muros perpendiculares a él, no debe ser mayor que 10 veces su espesor.

La altura máxima del muro no debe ser mayor que 8 veces su espesor.

Todos los vanos deberán estar centrados. El ancho de un vano no debe ser mayor que 1.20m. La distancia entre una esquina y un vano no debe ser inferior a 3 veces el espesor del muro y como mínimo 0.90m. La suma de los anchos de vano en una pared, no debe ser mayor que la tercera parte de su longitud. El empotramiento de un dintel aislado no debe ser inferior a los 40cm.

No es recomendable hacer esquina en octavo.

### *Albañilería*

El asentado de los adobes sigue procedimientos similares a otras albañilerías.

Los adobes deberán haber completado su proceso de secado, ser limpiados y mojados antes del asentamiento para que no absorban el agua del mortero y haya una buena adherencia entre el adobe y el mortero.



El mortero se prepara con barro y paja en forma similar a la mezcla que se utiliza para la fabricación de adobes, las proporciones en volúmenes de los materiales son 1 de barro por 1 de paja o pasto.

Las juntas horizontales y verticales no deberán exceder de 2cm y deberán ser llenadas completamente.

#### 4.8. RITMO DE LA CONSTRUCCIÓN

Cuando se construye a ritmo exagerado es posible que se coloque un número excesivo de hiladas sobre un mortero que aún no ha adquirido una rigidez adecuada, ocasionando su deformación. Como ésta no ocurre necesariamente de modo uniforme, el muro tiende a perder su verticalidad. Para evitar excentricidades accidentales y fallas prematuras por aplastamiento del mortero, el ritmo de construcción en piezas juntas con mortero de cemento Pórtland no exceda de 1.30m. de altura por jornada de trabajo.

#### 4.9. CUIDADO DE LOS MUROS DURANTE SU CONSTRUCCIÓN

Con el fin de evitar fallas por cizallamiento en las juntas de construcción debe evitarse en lo posible, juntas frías en los muros. Para lograr una mayor adherencia entre el muro existente y el muro por construir, se recomienda limpiar las superficies de asiento de las unidades del muro existente con aire comprimido, y humedecerse en el caso de que las unidades requieran dicho tratamiento. Para piezas macizas, se recomienda que al término de la primera jornada de trabajo se llenen parcialmente las juntas verticales correspondientes a la hilada superior, para llenarlas completamente al inicio de la segunda jornada (véase Figura 4.5). Asimismo, es deseable en general, que todas las juntas de construcción sean rugosas y que estén libres de polvo y gránulos sueltos.

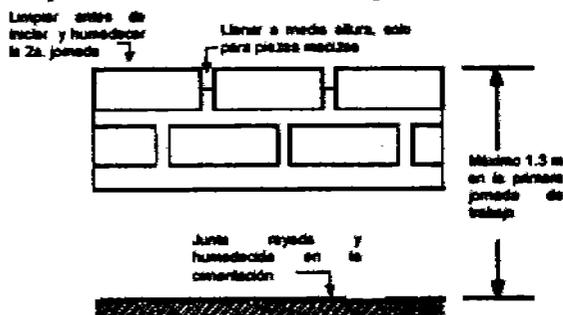


Figura 4.5. JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN.



Durante el proceso constructivo, los muros tienen poca estabilidad fuera de plano y en general, una resistencia a la tensión muy reducida. En consecuencia, no deben ser sometidos a golpes o vibraciones, ni tampoco servir de apoyo a otros procesos constructivos, ya que es muy fácil romper accidentalmente las interfaces mortero-unidad (generalmente en la parte baja del muro). Durante la construcción de todo muro se tomarán las precauciones necesarias para garantizar su estabilidad en el proceso de la obra, tomando en cuenta posibles empujes horizontales, incluso viento y sismo. En muchos casos es conveniente, proveerlos de algún tipo de arriostamiento o apuntalamiento con tablonés de madera, para evitar daños (véase Figura 4.6).



Figura 4.6. PROTECCIÓN DE UN MURO MEDIANTE ARRIOSTRAMIENTO PROVISIONAL.

#### 4.10. COLOCACIÓN DE INSTALACIONES (HIDROSANITARIAS, GAS, ELÉCTRICAS, TELEFÓNICAS, ETC.)

Es muy importante la coordinación en la ejecución, para evitar romper o ranurar los muros. No es permisible romper o picar los muros, salvo que exista indicación expresa autorizando esta operación en el proyecto, ya que evidentemente se generan zonas de debilidad al romper, por ejemplo, un elemento con el propósito de alojar tubos para instalaciones eléctricas o sanitarias (Figura 4.7). La planificación de la ubicación de tubos, cajas e insertos de los diferentes subsistemas debe ser efectuada en la etapa del proyecto, debe indicarse claramente en los planos de construcción y debe efectuarse en los momentos más adecuados. De preferencia, los conductos deben ir alojados en ductos especiales y falsas columnas.

Las instalaciones se deberán instalar sin dañar la mampostería. En mampostería de piezas macizas o huecas con relleno total se admite ranurar el muro para alojar las tuberías y ductos, siempre que:

- a) La profundidad de la ranura no exceda de la cuarta parte del espesor de la mampostería del muro ( $t/4$ );
- b) El recorrido sea vertical; y
- c) El recorrido no sea mayor que la mitad de la altura libre del muro ( $H/2$ ).



En muros con piezas huecas no se podrán alojar tubos o ductos en celdas con refuerzo. Las celdas con tubos y ductos deberán ser rellenas con concreto o mortero de relleno.

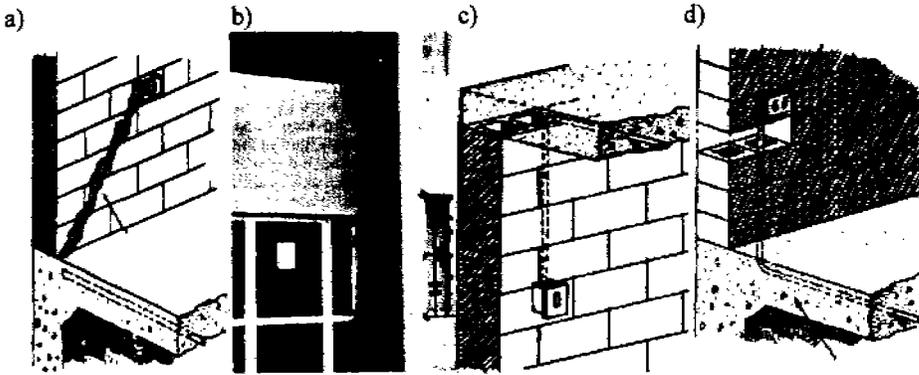


Figura 4.7. a) COLOCACIÓN INCORRECTA DE RANURA QUE ALOJA UN DUCTO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA. b) DAÑO SEVERO EN MURO POR UNA RANURA DE ESPESOR EXCESIVO c) y d) COLOCACIÓN CORRECTA DE INSTALACIONES, SIGUIENDO RECORRIDOS VERTICALES.

No se permite colocar tuberías y ductos en castillos que tengan función estructural, sean exteriores o interiores o en celdas reforzadas verticalmente

#### 4.11. ARMADO DE DALAS Y CASTILLOS Y ANCLAJE DE ARMADO EN MUROS REFORZADOS EN SU INTERIOR

Los anclajes extremos son muy importantes (es común que no se hagan adecuadamente).

Cuando se usen armaduras prefabricadas es necesario revisar sus intersecciones. Conviene aclarar que se fabrican en dos calidades (5000 y 6000 Kg. /cm<sup>2</sup>).

No deberá traslaparse más del 50% en una misma sección. En caso de hacerlo, deberá duplicarse la longitud de traslape.

Deberán suministrarse grapas en los castillos ahogados, y el remate de las grapas se harán con gancho a 180 grados.



El refuerzo horizontal debe ser continuo (no debe traslaparse) y si anclarse con ganchos a 90 o 180 grados en castillos intermedios. El refuerzo vertical deberá estar eficientemente anclado en la cimentación, y en su remate en la azotea.

#### **4.12. IMPERMEABILIZACIÓN DE MUROS Y MANTENIMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA**

Para evitar la aparición del salitre, que es muy perjudicial para el muro, es necesario impermeabilizar. El procedimiento usual se describe a continuación:

1. Aplicar una capa gruesa de chapopote derretido o asfalto sobre la trabe o dala de desplante.
2. Aplicar una capa de cartón asfáltico o polietileno.
3. Aplicar otra capa de chapopote o asfalto. Sobre esta capa fresca se espolvorea una capa de arena fina con el fin de que quede una superficie rugosa para poder comenzar con la construcción del muro.

En caso de que en el lugar en donde se vaya a construir el muro se encuentre situado en donde se presente mucha humedad, la aplicación de las capas antes descrita se hará pero hasta rodear a las tres primeras hiladas de la construcción del muro (llamadas sobrecimiento).

Las losas de piso o las losas corridas de fundación, construidas directamente sobre el terreno, se deben proveer de una barrera contra la humedad para evitar su ascenso. Dicha barrera puede ser una película de polietileno colocada sobre el entresuelo o base que las va a soportar, cuidando de que no se perfora durante su instalación y durante el vaciado posterior del concreto.

Con respecto al mantenimiento de la mampostería es necesario, para evitar la degradación de las piezas, dar mantenimiento al muro cuando éste lo requiera (pintura, yeso, aplanados, etc.). El ladrillo aparente extruído de barro no requiere mantenimiento, más que una sola vez un hidrofugante (que no deje película, que evite la entrada del agua pero permita la transpiración por medio de salida de vapor).



#### **4.13. ERRORES COMUNES QUE PUEDEN EVITARSE**

- a). Posición del acero de refuerzo en castillos y refuerzo vertical de muros reforzados interiormente (doblez 1 a 6).
- b). Traslape del acero en más del 50% en una sola sección. Traslape del refuerzo horizontal en muros.
- c). Remates a 90 grados en los estribos (deben ser a 135 grados).
- d). Mal colado de los huecos (en tramos de gran altura, que propician oquedades en el colado).
- e). Fabricación del mortero sin control (proporcionamiento, en el suelo)
- f). Aplicación deficiente del mortero
- g). Falta de previsión en las instalaciones que obligan a romper los muros.
- h). Falta de saturación en las piezas de barro. Saturación de las piezas de bloques de concreto.
- i). Mala posición del acero de refuerzo (malla sobre todo). Bastones en el lecho superior de losas macizas de entrepiso.
- j). Mal proporcionamiento y remezclado inadecuado de morteros
- k). Espesor de juntas de mortero en los muros de menos de 1cm o de más de 1.5cm.
- l). Falta de confinamiento de huecos de ventanas, o refuerzo horizontal en los antepechos.

#### **4.14. ASPECTOS IMPORTANTES DEL SUPERVISOR DE VIVIENDA**

De acuerdo con el Reglamento de Construcciones (y sus correspondientes en otras poblaciones), el Director Responsable de Obra (DRO) y el Corresponsable en Seguridad Estructural (CSE) son responsables de que la obra se ejecute de acuerdo con el proyecto estructural, para lo cual resulta indispensable que como mínimo (dependiendo de la magnitud de la obra) cada uno de ellos tenga un Residente que vigile la construcción, cuyo costo normalmente no es aceptado por el constructor (inmerso en aspectos financieros), por lo que la participación de ambos se limita a visitas esporádicas, que desde luego no garantizan un seguimiento adecuado del proceso constructivo.



A continuación se presenta un resumen sobre los artículos del RCDF93 que definen las obligaciones y derechos del DRO y del CSE, con la idea de mostrar la importancia de su actuación para el aseguramiento de la calidad de las construcciones de vivienda.

En su título tercero, el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal define a la figura del Director Responsable de Obra (DRO) como aquella persona física que se hace responsable de la observancia del Reglamento de Construcciones para las obras en las que otorgue su responsiva, nombramiento que obtienen profesionistas de carreras específicas (Ingenieros Civiles y Arquitectos, principalmente) que Acreditan ante una Comisión de Admisión que cuentan con la experiencia necesaria y conocimientos sobre el Reglamento de Construcciones, Normas Técnicas Complementarias y otros documentos legales relacionados.

Las obligaciones del DRO se refieren principalmente a la dirección y vigilancia de las obras asegurándose que el proyecto y la ejecución de los trabajos de construcción cumplan con los ordenamientos correspondientes, contando para ello con la participación de uno o varios Corresponsables, en especialidades tales como Seguridad Estructural, Diseño Urbano y Arquitectónico e Instalaciones.

El DRO llevará un libro de bitácora en el que deberá anotar entre otros aspectos, los procedimientos de construcción y de control de calidad, incidentes y accidentes así como observaciones e instrucciones del DRO, Corresponsables y de inspectores del Departamento, El libro de bitácora se debe entregar al propietario junto con toda la documentación actualizada al término de la construcción.

Por su parte, el Corresponsables es aquella persona física que responde en forma solidaria con el DRO por todas las obras en las que otorgue su responsiva de acuerdo con la especialidad que se trate.

Análogamente a lo descrito para el DRO existen requisitos que deben cubrir aquellos profesionistas que deseen obtener su registro de Corresponsable. Los casos en los que se requiera que otorguen su responsiva están claramente definidos en el Reglamento de Construcciones.

Entre otras, son obligaciones de los Corresponsables verificar en los aspectos que competen a su especialidad, que el proyecto y la construcción tengan concordancia, y que se apeguen a la normatividad vigente, con la idea de llevar un control más estricto en la calidad del diseño y construcción de edificaciones. Además los corresponsables deberán responder conjuntamente y con el DRO de cualquier violación al Reglamento de Construcciones.

## **CAPÍTULO 5**

### **REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA**



## INTRODUCCIÓN

La rehabilitación de la estructura de un edificio se puede describir como el conjunto de modificaciones e intervenciones necesario para mejorar su comportamiento ante acciones futuras.

Desde un punto de vista técnico, el inicio de la rehabilitación es marcado por la evaluación de la estructura, que persigue identificar las debilidades potenciales de los elementos que la componen. Los esquemas de rehabilitación que se estudien y desarrollen deben corregir de manera global estas debilidades, cuidando de no producir nuevas. Desde un punto de vista económico, el o los esquemas de rehabilitación deben ser rentables. Si así se requiere, la rehabilitación no debe modificar la función y uso de la estructura; además, debe ser consistente con la estética y apariencia de la misma. Debido a que este tema está enfocado únicamente a la vivienda, el esquema de rehabilitación debe proporcionar, adicionalmente, un sentimiento de confianza y seguridad a los habitantes.

### 5.1. PRINCIPIOS BÁSICOS PARA UN COMPORTAMIENTO ADECUADO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

Si se conocen los principios básicos que una estructura de mampostería debe seguir para exhibir un desempeño adecuado ante distintas acciones, en particular las sísmicas, será más fácil evaluar la condición de la estructura, así como seleccionar y diseñar el esquema de rehabilitación idóneo. A continuación se discute de modo claro dichos principios.

- **Forma robusta de la edificación.** La planta debe ser simétrica, regular y compacta. Los muros deben estar unidos o riostrados entre sí. Se debe usar un mismo arreglo de muros en pisos subsecuentes (regularidad en elevación). Los cuerpos de cada edificio deben separarse entre sí cuando menos 5cm. Se debe mantener el área de las aberturas lo más baja posible.
- **Cimentaciones sólidas.** Conviene usar cimentaciones continuas y que estén reforzadas de acuerdo con el tipo de terreno. Así, si el material es blando, es recomendable que las zapatas corridas sean de concreto reforzado o por lo menos mixtas. Para proteger a los muros, se debe evitar que la cimentación y el suelo adyacente a ella se puedan saturar, ya que de otro modo la estructura sería debilitada.
- **Materiales de buena calidad.** Ya sea que se usen piezas sólidas o huecas, deben satisfacer la Norma Mexicana aplicable. Los morteros deben poseer una resistencia adecuada con la resistencia de las piezas por unir. Se recomienda que la dosificación (cemento: cal: arena, por volumen) del mortero sea como la mencionada anteriormente. Para la elaboración de los morteros se deben usar arenas limpias, libres de arcilla y materia orgánica. Análogamente, se debe usar agua limpia, libre



de cloruros, materia orgánica y de cualquier otra sustancia que altere la resistencia mecánica y durabilidad del mortero.

- **Muros resistentes.** Las estructuras deben poseer una adecuada densidad de muros. Se debe tener en mente que la resistencia de un muro depende de varios factores, como son: tipo de pieza, mortero, aparejo, refuerzo, carga axial, tamaño y ubicación de aberturas, relación de esbeltez (altura/espesor), por mencionar algunas.
- **Aberturas bien distribuidas.** El tamaño de las aberturas debe ser el más pequeño posible; éstas deben estar alejadas de las esquinas de los muros, por lo menos a una distancia de  $\frac{1}{4}$  de la altura de la abertura, pero no menos de 60cm. Las aberturas deben estar espaciadas de modo que entre ellas quede una porción de anchura igual a la mitad de la altura de la abertura, pero no menor que 60cm. Se recomienda que la suma de las anchuras de las aberturas sea menor que la mitad de la longitud del muro.
- **Elementos horizontales de confinamiento: dalas.** Del mismo modo que lo señalado anteriormente, los muros reforzados con dalas en su extremo superior tienen un mejor comportamiento que aquéllos que no las tienen; más aún, si las dalas son continuas en la estructura, consiguiendo la continuidad mediante conexiones adecuadas entre ellas. Las dalas incrementan la rigidez de la parte superior del muro, evitan su agrietamiento prematuro y facilitan la transmisión de fuerzas inducidas por distintos fenómenos. Con objeto de promover un trabajo como unidad de la estructura, así como de diafragma por parte del sistema de piso/techo, es conveniente que la dala esté conectada con éste. Las dalas deben tener una anchura mínima de sección transversal igual al espesor del muro, y un peralte de 15cm. Deben estar reforzadas de modo de resistir el puntal de compresión que se desarrolla en el muro ante cargas laterales. Finalmente, el refuerzo longitudinal debe anclarse en las esquinas de modo de desarrollar su esfuerzo nominal de fluencia en el costado del muro. Las dalas pueden ser de madera o concreto reforzado.
- **Elementos verticales de confinamiento: castillos.** La ubicación y diseño adecuado de estos elementos permiten confinar la mampostería, reeditando en una mejor capacidad de deformación horizontal, mayor resistencia y una menor tasa del deterioro de la resistencia y rigidez. Promueven que el comportamiento del muro sea estable. Para su ubicación y construcción se deberán utilizar los requisitos establecidos con anterioridad.
- **Mantenimiento periódico.** Sin temor a equivocación, se puede afirmar que a falta de mantenimiento, el daño será mayor. Así, el daño se puede deber a: debilitamiento de la mampostería (ya sea por humedad, ciclos de deshielo/congelamiento, vegetación); corrosión de barras de refuerzo (iniciado por agrietamiento de gran anchura, por escaso recubrimiento, o bien por pérdida de éste); agrietamiento de muros, en particular por asentamientos diferenciales; o bien, por daño en sismos previos. Es conveniente establecer y emprender inspecciones regulares de la estructura dirigidas a identificar deterioros de morteros y piezas, agrietamiento y



corrosión. Un aspecto fundamental es la inspección de las instalaciones eléctrica e hidrosanitaria.

## **5.2. COMPORTAMIENTO OBSERVADO EN EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA**

Con objeto de identificar la vulnerabilidad de los edificios de mampostería, se enuncian los tipos de daño y modos de falla más comunes. Se incluye la mampostería simple, la confinada y la reforzada.

### **Mampostería simple**

En seguida se presentan los tipos de daño más comunes en estructuras de mampostería simple.

- Deslizamiento del sistema piso/techo sobre los muros
- Volteo de muros perimetrales
- Agrietamiento diagonal
- Aberturas de gran tamaño, que disminuyen la capacidad sísmica, y que se traducen en daños locales severos.
- Caídas de parapetos
- Daños por empujes de escaleras o rampas
- Golpeteo con construcciones vecinas debido a una insuficiente separación
- Falla de muros por excesiva esbeltez
- Falta de continuidad en la altura, lo que provoca concentraciones de esfuerzos y deformaciones en ciertos elementos
- Dinteles discontinuos que se traducen en un confinamiento inadecuado para mantener la capacidad sísmica a deformaciones laterales crecientes
- Distribución inadecuada de muros en planta que origina oscilaciones de torsión importantes, así como demandas de deformación que se traducen en daño
- Asentamientos diferenciales.



## **Mampostería confinada**

A continuación se enuncian los tipos de daño más comunes en estructuras de mampostería confinada así como algunas de las causas.

- Confinamiento insuficiente, ya sea porque la cantidad de elementos confinantes (castillos y dalas) es baja, porque su separación es excesiva, o porque su detallado es inadecuado
- Deficiente colocación y compactación del concreto
- Agrietamiento inclinado del muro. Si éste penetra en los castillos, la estabilidad ante cargas verticales del muro está en peligro
- Anclaje insuficiente del refuerzo longitudinal de castillos y dalas; en particular, en la unión del castillo con la dala
- Traslapes de longitud escasa o con ubicación inadecuada (como aquéllos ubicados en la base de muros, por ejemplo)
- Deslizamiento del sistema de piso/techo sobre los muros debido a una inadecuada conexión
- Falla del muro por flexocompresión debido a cargas verticales excesivas
- Excesivas demandas de desplazamiento ya sea por oscilaciones de torsión, baja densidad de muros, o bien por falta de continuidad en la altura de los muros.

## **Mampostería reforzada**

A continuación se enuncian los tipos de daño más comunes en estructuras de mampostería reforzada así como algunas de las causas.

- Falta de supervisión durante la construcción, lo que da lugar a vicios y defectos constructivos, así como a diferencias respecto al proyecto de diseño
- Traslapes del refuerzo interior del muro, ya sea insuficientes o mal ubicados
- Uso de piezas con alvéolos pequeños que dificultan la colocación y compactación adecuada del mortero fluido de relleno
- Deficiente colocación y compactación del mortero de relleno



- Uso del mortero de pega como mortero de relleno. Por una parte, el mortero de pega, generalmente, tiene una menor resistencia que el mortero de relleno; por otro lado, la colocación del mortero de pega en los alvéolos deja cavidades no compactadas, lo que se traduce en una reducción de la capacidad del muro.

### **5.3. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA EXISTENTES**

La rehabilitación generalmente requiere una serie de evaluaciones y análisis ejecutados por un profesional del diseño. Dependiendo de la importancia del edificio, así como del tiempo y recursos, se pueden practicar diferentes niveles de evaluación.

Antes de iniciar cualquier actividad relacionada con la evaluación y el análisis, se requiere una planeación cuidadosa de modo de asegurar que se logrará comprender cabalmente el comportamiento estructural.

Antes de iniciar las actividades de evaluación y análisis es conveniente que el diseñador y el cliente establezcan y documenten las directivas del proyecto de rehabilitación. En particular, es conveniente:

- Identificar los recursos financieros y el presupuesto destinados por el cliente con el fin de detectar limitaciones a los objetivos y metas.
- Determinar los objetivos y metas a alcanzar con la rehabilitación
- Definir los requisitos del reglamento en vigor que es necesario que la estructura existente y la rehabilitada satisfagan

Es sumamente importante que el cliente tenga claro que los objetivos de desempeño son metas y no garantías de comportamiento.

#### **Evaluación de edificios existentes**

El término evaluación se define como la revisión e investigación técnica de la configuración de la estructura existente, tipos de elementos y de materiales de construcción, condición y deficiencias, así como cualquier característica relevante al análisis estructural. En la evaluación se deberán incluir elementos fabricados con otros materiales además de la mampostería.



Sin duda, una de las dificultades más importantes en la evaluación es alcanzar un nivel de confianza adecuado sobre las condiciones “reales” del edificio y su comportamiento. Es claro que de inicio se desconocen las propiedades de materiales, el estado de esfuerzos en los elementos, y el flujo de fuerzas, entre otras. La meta de la evaluación es identificar las variables y características más relevantes de una estructura para desarrollar un análisis estructural lo suficientemente completo.

## **Registro documental de diseño y construcción**

Es crucial recuperar todo el material disponible sobre el diseño, construcción, características del suelo, así como sobre modificaciones posteriores. En este se incluyen cálculos, especificaciones, normas, planos de diseño y de taller, modificaciones al proyecto, dictámenes, inspecciones, determinaciones de propiedades de los materiales, y cualquier otra evidencia que ayude a caracterizar el diseño original y la configuración actual. El nivel de detalle de la información recabada determinará el esfuerzo necesario para entender el edificio existente.

## **Inspecciones**

La inspección del edificio es necesaria para confirmar que el registro documental recuperado refleja cercanamente las condiciones existentes, así como para identificar la presencia de daño ocasionado por acciones anteriores. En una inspección se deben revisar: 1) configuración; 2) condición; y 3) deficiencias de la estructura.

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

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

Se debe prestar suficiente atención a la condición actual de las conexiones entre muros de mampostería, y entre muros de mampostería y sistemas de piso. Las conexiones tienen funciones importantes en la transmisión de carga y en la disipación de energía; influyen de modo determinante en el comportamiento de la estructura, y son comúnmente modificadas durante la construcción. En estos lugares es prudente recurrir a una



combinación de inspecciones visuales, retiro de recubrimiento y evaluación no destructiva para localizar el refuerzo e identificar su diámetro.

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

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

## **Propiedades de los materiales**

Uno de los problemas más difíciles de resolver en un proyecto de rehabilitación es tener acceso físico a los elementos de carga de modo de poder cuantificar las propiedades de los materiales.

En caso de elementos de concreto, es recomendable obtener probetas (corazones) con taladros para ser ensayadas en el laboratorio. El nivel de muestreo y número mínimo de pruebas depende de la información disponible y de la condición del edificio. Se debe tener cuidado con la selección de los métodos de muestreo para evitar demoliciones o daños a recubrimientos valiosos.

## **Evaluación de grietas**

La causa más frecuente de falla (deja de cumplir una función) en la mampostería son las grietas en los muros, y no el colapso.

Así, en general, la filosofía de diseño se basa en eliminar las grietas o bien, en limitar su anchura a valores tolerables. Sin embargo, 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.

Una clasificación de anchura de grietas según el nivel de exposición de la estructura se presenta en la Tabla 5.1.

*Tabla 5.1. 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	$0,50 < AG < 0,80$
Severo		$AG > 0,80$

De igual manera otros autores han propuesto criterios para determinar el grado de daño de muros de mampostería por sismo (Tabla 5.2).

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%; esto significa que la anchura máxima puede ser hasta del doble de la anchura media en un solo elemento.

*Tabla 2. 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 dadas 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 dadas. Grietas grandes en la superficie del muro, con anchuras entre 1 y 3 mm.
IV	Agrietamiento diagonal en muros confinados con castillos y dadas, o en muros de relleno ligados a marcos; grietas con anchuras mayores que 3 mm. Inicio de la formación de agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dadas.
V	Desprendimiento de partes de piezas. Apestanamiento local de la mampostería. Prolongación del agrietamiento diagonal en castillos o en dadas (anchuras de grietas superiores a 1 mm). Agrietamiento diagonal en muros sin castillos y dadas. Deformación, inclinación horizontal o vertical apreciable del muro.

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.

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 movimientos de las grietas:

a. Mediciones periódicas con ayuda de las láminas plásticas señaladas (Figura 5.1). Las mediciones se hacen sobre una misma grieta y en lugares seleccionados con anterioridad del orden de tres o cuatro).



FIGURA 5.1. COMPARADOR PLÁSTICO DE GRIETAS O GRIETÓMETRO.

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.

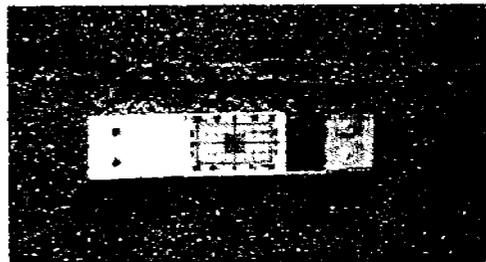


Figura 5.2. MONITOR PLÁSTICO DE ABERTURA DE GRIETAS.

c. Monitores plásticos de grietas. Se trata de dos piezas plásticas que se adhieren una en cada lado de la grieta de interés (Figura 5.2). 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.

A continuación se presentan algunas causas de agrietamiento de mampostería (Figuras 5.3 y 5.4).

**Lugar:** muros diafragma en marcos estructurales

*Tipo de grieta:* verticales en el centro del muro, siendo de mayor anchura en la parte media (Figura 5.3)

*Causa:* restricción al movimiento vertical de la parte superior e inferior de los muros.

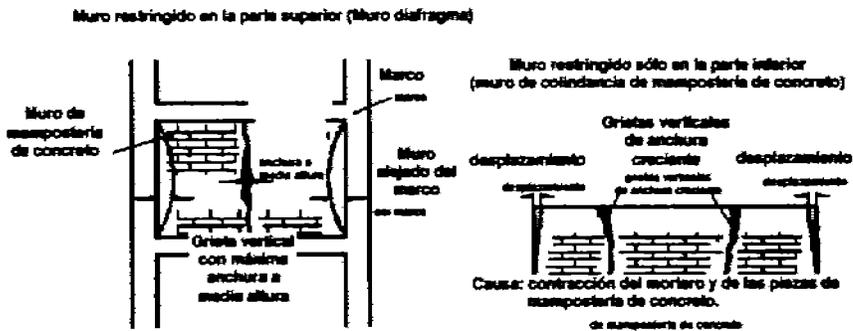


Figura 5.3. CONSECUENCIAS DE UN ASENTAMIENTO DE LA CIMENTACIÓN O DEL LEVANTAMIENTO DEL SUELO.

*Tipo de grieta:* en escalera partiendo de las esquinas inferiores y con anchura constante (Figura 5.4)

*Causa:* el muro de mampostería es obligado a bajar debido a la flexión de vigas superior e inferior.

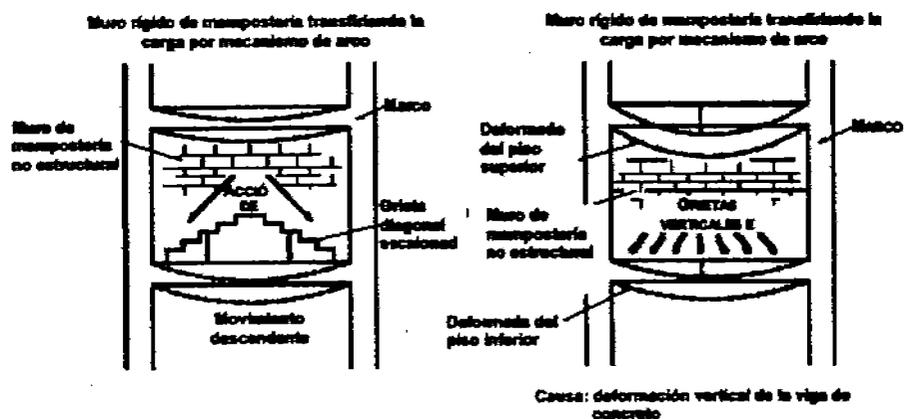


Figura 5.4. CONSECUENCIAS DE DEFORMACIÓN VERTICAL EXCESIVAS DE VIGAS.

*Tipo de grieta:* verticales e inclinadas en la parte inferior del muro, siendo de mayor anchura en la parte más baja

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

**Lugar:** juntas de mortero

*Tipo de grieta:* verticales y horizontales, con anchura constante en juntas de mortero de gran espesor

*Causa:* contracción por secado del alto contenido de cemento que tiene el mortero empleado en juntas anchas con menos agua y cal que las normales.

*Tipo de grieta:* verticales y horizontales de anchura constante

*Causa:* movimiento relativo entre piezas y mortero; generalmente, asociado a cambios térmicos.

*Tipo de grieta:* horizontales y verticales

*Causa:* pandeo de la escalerilla (o acero de refuerzo en la junta) debido a movimientos de muros adyacentes, lo que provoca agrietamientos y desconchamientos del mortero.

*Tipo de grietas:* varios

*Causa:* deterioro de la adherencia debido a agentes químicos o a limpieza de mampostería con ácidos.

**Lugar:** pieza desconchada

*Tipo de grieta:* horizontales y verticales de anchura constante en lugares con



ciclos de congelación y deshielo

**Causas:** la expansión volumétrica del agua (9%) cuando se congela produce tensiones que se traducen en grietas y desconchamiento de las piezas.

**Tipo de grietas:** de anchura constante y desconchamiento de piezas en zonas húmedas de edificios

**Causas:** cristalización de sales solubles en la mampostería que producen expansiones internas. Este fenómeno ocurre cuando se han aplicado selladores a los muros que, aunque permiten el paso de vapor de agua, impiden la salida de las sales.

**Lugar:** bloques de concreto

**Tipo de grieta:** anchura constante en bloques y juntas de mortero

**Causa:** contracción por secado de bloques de concreto, o bien por secado de los bloques que fueron colocados mojados.

**Lugar:** varios

**Tipo de grieta:** de varias anchuras en piezas y juntas

**Causa:** el agua que permea por los muros puede causar asentamientos diferenciales y deterioro en los materiales adyacentes.

**Lugar:** juntas de expansión

**Tipo de grieta:** verticales con anchura constante entre juntas de expansión o cerca de ellas

**Causa:** pocas juntas de expansión que obligan al sellador a salir y a agrietar la mampostería.

**Lugar:** muros sobre cimentaciones o losas

**Tipo de grieta:** horizontales con anchura constante cerca de la parte inferior de los muros

**Causa:** los muros sobre cimentaciones de concreto se expanden mientras que la cimentación (losa) se contrae.

**Tipo de grieta:** verticales con anchura variable, mayor en la parte superior y partiendo del fondo del muro

**Causa:** asentamiento de las esquinas de la cimentación (losa) o levantamiento del suelo cerca del centro del muro.

**Tipo de grieta:** diagonales escalonadas a partir de la esquina de aberturas de



puertas o ventanas, con anchura mayor cerca de la abertura

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

**Tipo de grieta:** diagonales escalonadas en ambas esquinas de aberturas, siendo menor cerca de la abertura

**Causa:** asentamiento de un extremo del muro.

**Lugar:** cerca de combinaciones de piezas claras y oscuras o de diferentes materiales en el mismo muro

**Tipo de grieta:** horizontales y verticales de anchura constante

**Causa:** diferentes coeficientes de expansión térmica entre piezas claras y oscuras, o entre piezas de diferente material, lo que produce deformaciones relativas y agrietamiento.

**Lugar:** cerca de árboles

**Tipo de grieta:** anchura y tipos variables cerca de cimentaciones

**Causa:** movimiento de la cimentación debido a las raíces de los árboles. En suelos arcillosos, los árboles pueden secar el suelo, provocando asentamiento de la cimentación.

**Lugar:** edificios cercanos a obras

**Tipo de grieta:** anchura y tipos variables cerca de cimentaciones

**Causa:** aumento en la profundidad del nivel freático debido a la construcción, lo que se traduce en consolidación del suelo y, consecuentemente, en asentamiento de los edificios vecinos.

**Tipo de grieta:** varios tipos, tamaños y localización

**Causa:** hincado de pilotes, explosiones o impactos similares.

**Lugar:** parapetos

**Tipo de grieta:** verticales y horizontales con anchura constante

**Causa:** a) Diferentes niveles de absorción y expansión térmica al estar expuestos a mayores cambios climáticos que los muros inferiores. b) Reducida o nula restricción fuera del plano.



## **Criterio de seguridad de la rehabilitación**

En términos generales, existen dos tipos de rehabilitaciones, dirigidas a: 1) mejorar el comportamiento de la estructura; 2) reparar la estructura dañada y, si es necesario, reforzarla con objeto de mejorar las características de su desempeño. En cualquiera de estos casos, es necesario que el dueño/usuario del edificio definan, conjuntamente con el diseñador, el nivel de desempeño que esperan de su estructura ante las acciones de diseño. De acuerdo con esto, corresponderá al diseñador seleccionar los criterios, sistemas estructurales y métodos de rehabilitación apropiados, dimensionar y detallar la estructura, así como el de los elementos no estructurales y su contenido; al constructor, asegurar y controlar la calidad durante la construcción; y al dueño, mantener la estructura a largo plazo. Todo esto buscando que, a niveles especificados de acciones, la estructura no se dañará más allá de ciertos estados límite u otros estados de funcionamiento.

La rehabilitación es obligatoria en aquellos casos en que se añaden nuevas áreas útiles a la estructura, cuando las cargas gravitacionales se incrementan en más de un 20%, cuando se altera el sistema estructural, o cuando hay daños de consideración. Toda rehabilitación mayor requiere evaluar la seguridad estructural.

## **Toma de decisiones sobre una rehabilitación**

### **Medidas a tomar después de un sismo**

Inmediatamente después de un sismo, se deben tomar ciertas medidas rápidamente; en particular, se debe considerar la ocurrencia de réplicas que puedan dañar más la estructura, o incluso precipitar su colapso parcial o total. El tipo de medidas depende, obviamente, del nivel de daño observado.

Si la estructura no presenta daño o sólo exhibe daños ligeros, no es necesario hacer nada. El paso y uso de la estructura está permitido. Si el daño es tal que afecta la resistencia del edificio a cargas laterales, se debe restringir el acceso mientras se realiza una evaluación más detallada; sin embargo, es recomendable considerar un apuntalamiento de emergencia. Por último, si el nivel de daño es alto u ocurrieron colapsos parciales, se debe prohibir el acceso al edificio y restringirlo a zonas adyacentes. Las zonas en pie del edificio se deben apuntalar.

Entre las medidas que se puede adoptar para apuntalamiento de emergencia están los apoyos verticales, horizontales, arriostramiento diagonal, tensores, colocación rápida de concreto en columnas muy dañadas empleando cimbras hechizas, retirar el material desprendido, reducir cargas en la estructura, entre otras.



## **Criterios para rehabilitar una estructura**

Una vez que, de la evaluación, se ha concluido que es necesario rehabilitar, la decisión se debe centrar en minimizar la intervención y optimizar los costos globales. La intervención debe considerar, entre otros:

- costos, tanto iniciales como de largo plazo
- durabilidad de los elementos originales, de los nuevos y de las juntas entre ellos
- mano de obra y equipos disponibles
- necesidad de mantener ocupado el edificio
- Estética
- conservación del carácter histórico
- duración de la construcción

La selección del tipo, la técnica, la extensión y urgencia de la rehabilitación dependen de la información de la estructura conseguida durante la evaluación. En términos generales:

- los edificios con irregularidades importantes, tanto en rigidez como en sobrerresistencias, deben rehabilitarse buscando disminuirlas o eliminarlas
- si el edificio posee elementos no estructurales vulnerables a los desplazamientos esperados de la estructura, se recomienda incrementar la rigidez de manera apreciable
- se deben satisfacer todos los requisitos que sobre la resistencia marcan los reglamentos locales; se debe buscar el mínimo de modificaciones de las rigideces locales y el máximo incremento posible de la ductilidad local disponible en la estructura.

## **Tipos de intervención en un edificio**

Siguiendo las recomendaciones señaladas antes, la intervención puede ser uno o la combinación de los siguientes tipos:

- no intervenir, a menos que se tengan que corregir algunos problemas de durabilidad
- reducir la masa o restringir el uso del edificio



- modificar el sistema estructural, mejorando la configuración y los elementos
- adicionar nuevos elementos estructurales (por ejemplo, nuevas dadas de cerramiento sobre los muros)
- modificar local o globalmente los elementos con y sin daño
- reemplazar los elementos inadecuados o severamente dañados
- redistribuir los efectos de las acciones (por ejemplo, renivelando una estructura)
- colocar elementos de control
- demoler total o parcialmente la estructura

### **Algoritmo del diseño de una rehabilitación**

Se recomienda seguir los siguientes pasos:

#### 1. Diseño conceptual, que involucra:

- seleccionar, justificadamente, las técnicas, materiales y morfología de la rehabilitación
- estimar las dimensiones de los elementos estructurales adicionales
- estimar la rigidez modificada de los elementos rehabilitados
- estimar un factor de comportamiento sísmico

#### 2. Análisis, que incluye:

- calcular las acciones verticales y sísmicas
- seleccionar modificaciones a los factores parciales de seguridad
- determinar los cambios en los efectos de las acciones, debido a las rigideces modificadas



### 3. Verificar:

- la selección del modelo de comportamiento de los elementos rehabilitados
- el cálculo de las resistencias
- la selección de factores de reducción de resistencia
- que las desigualdades de seguridad se satisfagan ante acciones normales y sísmicas, tanto en los estados límite (o niveles de desempeño) de interés
- que el factor de comportamiento sísmico sea adecuado

## 5.4. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN Y ENSAYES EN EL SITIO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

A continuación, se mencionan algunos de los principales métodos para evaluar la mampostería. No todos los métodos son no destructivos; algunos requieren la extracción o remoción de probetas. Otros dejan manchas de grasa, agujeros u otras marcas que pueden ser no aceptables desde un punto de vista estético/arquitectónico.

La extracción de algunas probetas, como corazones, usualmente requieren de agua para enfriar la broca durante el barrenado. Esta agua puede dañar los acabados interiores y exteriores. Por otro lado, algunas pruebas pueden producir polvo, ruido, radiación y cascajo. Para algunos métodos de prueba es indispensable contar con energía eléctrica, gas, aire comprimido, accesos especiales, andamios, equipos de izaje, y otros.

Con algunos métodos se mide directamente la resistencia; algunos otros requieren de correlaciones con pilas o corazones para estimar la resistencia. Algunos más, como el martillo de rebote y pruebas de penetración, son útiles para indicar la uniformidad de la mampostería

### Inspección visual

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



A continuación solo se mencionan algunos de los principales métodos y técnicas que se pueden utilizar para evaluar la mampostería.

Inspección visual

Martillo de rebote

Pruebas de extracción

Barrenado

Pruebas de penetración

Ensayes de corte en el plano de las piezas y elementos

Ensayes de probetas extraídas o corazones

Medición de la adherencia mortero-pieza

Gatos Planos

Técnicas de transmisión de pulso

Medición del eco producido por impactos

Tomografías

Métodos magnéticos

Radiografías

Termografías de rayos infrarrojos

Emisión acústica

Pulsos electromagnéticos

Interferometría láser

Microondas

Resistencia de la mampostería

Petrografías

Endoscopía

Pruebas de carga

Potencial de corrosión

Tamaño de la muestra



## 5.5. TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN

En esta sección se presentan las diferentes técnicas de rehabilitación aplicables a muros de mampostería. Se discuten las distintas modalidades de conexión entre la mampostería existente y los nuevos elementos de concreto, acero o mampostería; el reemplazo de piezas y de concreto dañados; la reparación de grietas; la inserción de barras de refuerzo; el encamisado de muros; y la adición de elementos de concreto reforzado.

En la Figura 5.5 se muestra, de manera cualitativa, la relación entre el desempeño que ha exhibido la estructura por rehabilitar, el nivel de daño esperado y los esquemas de rehabilitación que pueden ser aplicados. La gráfica es aplicable a muros de mampostería confinada.

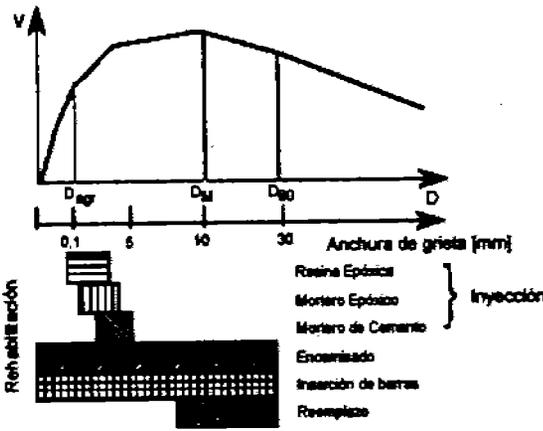


Figura 5.5. DESEMPEÑO DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA EXISTENTE, NIVEL DE DAÑO ESPERADO Y POSIBLES ESQUEMAS DE REHABILITACIÓN.

### Modalidades de conexión a la mampostería existente

Uno de los objetivos usuales de una rehabilitación es promover o asegurar un comportamiento monolítico entre los muros existentes y los materiales/elementos nuevos. Para lograr lo anterior es esencial que se preste atención a las conexiones locales.



## Anclas

Es frecuente que se usen anclas o fijadores para facilitar la conexión entre elementos de acero o de concreto a la mampostería existente. Las dos técnicas más comunes usan fijadores adhesivos o anclas mecánicas. Para ambos tipos, la conexión resultante dependerá de los procedimientos de instalación y de la selección de los materiales.

Para instalar los fijadores adhesivos, o de tipo químico, se barrena el muro y se limpia el agujero, se rellena éste con resina (epóxica, viniléster o poliéster) y se introduce el fijador. Aquí se presentan las que son consideradas aplicables a muros de mampostería. Los agujeros se practicaron con un rotomartillo con brocas con 3 a 6mm de diámetro mayores que el del fijador. Esta holgura se hace para que se permita una distribución adecuada de la resina y minimice la posibilidad de flujo plástico de ésta. Así, es esencial que antes de la inyección de la resina, el barreno esté libre de aceite, polvo o partículas finas de las piezas de mampostería. Se ha recomendado que se limpie alternadamente el barreno mediante un cepillo rígido para biberones y aspirando el fondo del agujero. No se recomienda retirar el polvo del barreno con aire comprimido, ya que el aceite que quede atrapado en la línea puede contaminar el agujero.

Un aspecto importante para el comportamiento del ancla es el mezclado de los componentes adhesivos. Se ha visto que es útil usar cartuchos con los componentes adhesivos ya pesados y preparados, ya que evitan las básculas de alta precisión en la obra. Las resinas se deben instalar desde el fondo del barreno hacia la superficie; y el fijador se debe girar ligeramente conforme se inserta en el barreno para promover una distribución uniforme de la resina en la periferia del ancla. Un punto a considerar es la compatibilidad del adhesivo con la mampostería existente y con las condiciones ambientales esperadas (instalaciones en climas fríos o calientes, presencia de humedad, entre otras).

Se ha sugerido la ejecución de ensayos a tensión en el sitio llevando a las anclas a cargas cercanas al 40 ó 50% de la carga de diseño para obtener un índice de la calidad de la limpieza del barreno.

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

Existen ciertas reservas sobre el uso de fijadores mecánicos de expansión y campana en aplicaciones sísmicas, en particular porque las recomendaciones de los fabricantes se basan, generalmente, en resultados de pruebas monótonas. Se encontró que ante cargas impulsivas de tensión, los fijadores mecánicos exhiben una degradación de rigidez debido a



un mayor deslizamiento. Así, cuando se prevea el desarrollo de deslizamientos, es preferible el uso de fijadores adhesivos sobre los mecánicos.

### **Conexiones mampostería-acero**

El método más popular para conectar elementos de acero a la mampostería es mediante fijadores roscados instalados en barrenos con algún tipo de resina. La conexión puede postensarse, de modo que la carga se transmita por fricción en la interfase mampostería-acero.

Los fijadores roscados se instalan siguiendo las mismas recomendaciones que las anclas de la sección anterior. Para mejorar la resistencia y rigidez de la conexión, se recomienda aplicar resina en la cara del elemento de acero en contacto con la mampostería, así como en el espacio anular que queda entre el perno y el agujero en el acero. La resina colocada en el elemento de acero promueve una distribución más uniforme de carga entre los pernos, y la que queda en el espacio anular, reduce o elimina los problemas de esfuerzos excesivos en el contacto entre el perno y el elemento de acero. Si para garantizar un comportamiento adecuado se necesita una conexión rígida, se recomienda usar rondanas de presión para mantener la fuerza de sujeción del perno que, de lo contrario, se perdería por relajación del fijador. Si, por otro lado, se requiere que la conexión posea una elevada capacidad de deformación, se deben usar mayores espacios anulares (mayores que 1,5mm) y una capa de mortero entre el elemento de acero y la mampostería. Sin embargo, se debe considerar las posibles reducciones en resistencia e incrementos en la degradación de rigidez en este tipo de conexiones.

Los elementos de acero se pueden fijar a la mampostería mediante conexiones de fricción. La otra modalidad mencionada, que puede usarse en combinación con la anterior, es postensar el elemento de acero a la estructura existente.

### **Reemplazo de piezas y de concreto dañados**

Esta técnica generalmente se aplica en muros con zonas muy dañadas; su eficiencia depende de la calidad de su ejecución. A menudo se aplica en combinación con alguna de las técnicas señaladas en esta sección. Para el correcto reemplazo, es frecuente la necesidad de apuntalar y renivelar la estructura, así como usar morteros o concreto con aditivos estabilizadores de volumen. Con lo último se pretende disminuir la contracción por fraguado y las fisuras que ocurren por las restricciones a la contracción. Una regla básica del reemplazo de piezas y de concreto dañados es el uso de materiales del mismo tipo y con una resistencia cuando menos igual a la resistencia del material original. Es frecuente que se aproveche la reparación para mejorar la estructura mediante materiales de reemplazo con características mecánicas superiores a las de los originales. En todo caso, se debe tener presente que la inserción de piezas o concreto con propiedades muy diferentes puede



desencadenar concentraciones de esfuerzos que pueden dañar la estructura; en estos casos, la rehabilitación resulta peor que el daño existente en el edificio. Ejemplo de esto es usar morteros que exhiben cambios volumétricos diferentes de la mampostería original. Las expansiones diferentes generan deformaciones y esfuerzos locales que promueven el agrietamiento y un daño posterior en la estructura.

Una aplicación obvia de esta técnica es el daño severo en muros ante acciones sísmicas, el cual se caracteriza por aplastamiento de piezas a lo largo de las grietas inclinadas, así como por aplastamiento y desconchamiento del concreto de los elementos confinantes. En particular, si los castillos están dañados, y se ha decidido rehabilitar la estructura, será necesario apuntalar el edificio, ya que los castillos no sólo contribuyen a incrementar notablemente la capacidad de desplazamiento lateral de la estructura y a dar estabilidad a su comportamiento, sino que participan en la capacidad de carga vertical de modo determinante.

## Reparación de grietas

La manifestación obvia de daño en un muro de mampostería es su agrietamiento. La reparación de las grietas consiste, en lenguaje sencillo, en cerrarlas o rellenarlas con materiales similares o diferentes de la mampostería original. Se pueden distinguir dos tipos de reparación: a. inyección y b. *rajueleo*. En todos los casos, se debe retirar el aplanado de la zona de la grieta, cuando menos en los 30cm adyacentes.

En el primer caso, las grietas se rellenan mediante la inyección de resinas epóxicas, morteros epóxicos o morteros fluidos de cemento (con consistencia de lechada). Esta técnica es aplicable en muros con bajo número de grietas que, además, estén bien definidas. Este es el caso de muros sin refuerzo horizontal (o sin mallas) o con baja cuantía de refuerzo horizontal y vertical. En efecto, el patrón de agrietamiento de muros con cuantías de refuerzo iguales o superiores a las mínimas reglamentarias exhiben una distribución uniforme en el tablero, caracterizado por un alto número de fisuras de anchura pequeña; para este caso la inyección de grietas sería difícil y costosa.

La inyección de grietas representa una manera viable de mantener la funcionalidad del edificio, incrementar su seguridad y durabilidad, pero sin alterar su estética.

## Inyección de resinas y morteros epóxicos

Un aspecto esencial para lograr la penetración completa de la resina en la grieta es la viscosidad de aquélla. La viscosidad por usar es función de la anchura de las grietas; evidentemente, mientras mayor sea la anchura de la grieta, mayor será la viscosidad. Las resinas poseen altas resistencias a la tensión (300 a 500kg/cm<sup>2</sup>) y a la adherencia con las



piezas, lo que obliga a que las nuevas grietas que se formen sean paralelas a las existentes; es decir, no se abren las existentes. La anchura mínima para rellenar grietas a presión es de 0,05mm, y por gravedad 0,30mm. En caso de que las piezas tengan una alta absorción, conviene recurrir a resinas espumantes con aditivos estabilizadores de volumen.

El proceso de inyección en estructuras de mampostería es similar al que se sigue en estructuras de concreto reforzado (Figura 5.6). No se recomienda inyectar por vacío dada la variabilidad que se obtiene en la penetración y rellenado de grieta. El proceso se inicia con la limpieza de las grietas, retirando todo residuo de polvo y de material flojo o suelto. Se recomienda no usar agua para la limpieza, a menos que se asegure que se evapore en su totalidad antes de inyectar el material epóxico. Lo anterior obedece a que los materiales epóxicos no se adhieren a superficies húmedas. Es conveniente limpiar la grieta con aspiradora industrial. Posteriormente, se sellan las grietas (generalmente con una pasta de viniléster o poliéster) y se colocan las boquillas de inyección (Figura 5.7). Se recomienda que la separación de ellas a lo largo de la grieta sea de una vez el espesor del muro. La inyección a presión se practica mediante bombas diseñadas para este efecto, inyectando la resina de abajo hacia arriba a lo largo de la grieta.

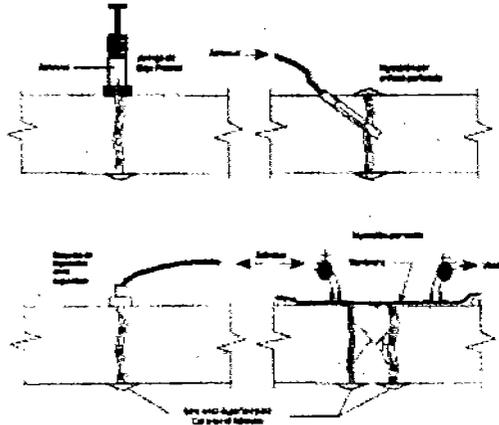


Figura 5.6. TÉCNICAS PARA INYECCIÓN DE RESINAS EN CONCRETO AGRIETADO.

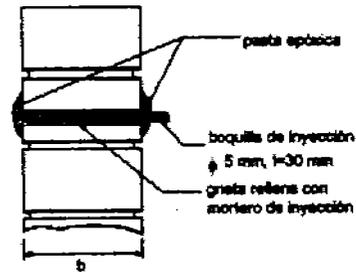


Figura 5.7. REPARACIÓN DE GRIETAS EN ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA MEDIANTE INYECCIÓN.

Se considera que el proceso es satisfactorio cuando la resina sale por la boquilla inmediata superior. Una vez que esto sucede, se cierra la boquilla y se procede con la siguiente superior de modo consecutivo.

Una vez terminada la inyección de las grietas del muro, se puede retirar las boquillas y el sellador con calor.



Con esta técnica, si se ejecuta adecuadamente, se restituye entre el 70 y 90% de la resistencia, 30 a 80% de la rigidez y del 75 al 90% de la capacidad de deformación del muro original.

### **Inyección de morteros de cemento**

Las lechadas o morteros fluidos de cemento deben ser inyectables, estables, resistentes y deben tener partículas pequeñas. La primera característica se refiere a la facilidad para fluir a través de grietas y vacíos, mientras que la segunda se refiere a que tenga baja segregación, sangrado controlado y una reducida contracción plástica. La capacidad resistente se refiere a sus resistencias a compresión, tensión y adherencia con las piezas de mampostería. Si las lechadas se diseñan adecuadamente, se pueden inyectar grietas con anchuras de 0.08mm hasta 12mm o más.

Para su colocación, se debe barrenar el muro a lo largo de la grieta para colocar ahí las boquillas de inyección. Las boquillas deben estar separadas entre 7 y 30cm; su separación dependerá de la anchura y rugosidad de la grieta. Si la anchura de las grietas es menor que 1mm, se recomienda colocar las boquillas dentro de los barrenos y separarlas entre sí 7cm. Los barrenos deben tener diámetros entre 6 y 12mm, y una profundidad de 5cm. Se recomienda usar sellador de silicón para fijar y sellar las boquillas al muro. Si las grietas son de mayor anchura, se pueden usar boquillas de superficie, que constan de una base metálica, que se adhiere al muro, y un tubo perpendicular (boquilla) que se conecta a la manguera.

Si el agrietamiento es por corte, es decir, sigue las juntas de mortero, se recomienda colocar boquillas a la mitad de la altura de las juntas verticales, ya que es menos probable ahí la presencia de finos o partículas que bloqueen el flujo de la lechada.

Posteriormente, se limpia la grieta y los barrenos, retirando el polvo y material flojo o suelto con aspiradora. Existen en el mercado taladros con bombas de vacío o succión que usan brocas huecas, a través de las cuales se aspira el polvo mientras se perfora. Las brocas convencionales tienden a forzar el polvo y pedazos dentro de la grieta que se pretende inyectar, de modo que bloquean el paso de la lechada.

Después, se sellan las grietas con algún material de fraguado rápido y capaz de resistir la presión de inyección. Generalmente, se usa pasta de viniléster o poliéster. Las pastas a base de vinil poseen la desventaja de ser ligeramente solubles al agua, de modo que pueden fugar durante la inyección.

Posteriormente, se retiran las partículas de la grieta con agua a presión (1 Kg. /cm<sup>2</sup>), empezando desde la parte más alta. Se debe dejar que el agua fluya hasta que el agua que



sale de las boquillas esté libre de partículas. Con este procedimiento se logra saturar el muro, de modo de retrasar o evitar el fraguado prematuro de la lechada. Conviene practicar esta limpieza 24 h antes de la inyección; 30 minutos antes se debe aplicar un ligero flujo de agua. Con objeto de evitar que la lechada se adhiera a las superficies del muro, también es recomendable humedecerlas.

La lechada se mezcla de modo de lograr su homogeneización; se recomienda aplicar 3500rpm para deshacer los componentes en partículas individuales más pequeñas. El tiempo de mezclado depende del equipo empleado; generalmente, es del orden de 3min con intervalos para remezclado de 5min. Para verificar la fluidez de la mezcla, y de ahí su idoneidad para la inyección, se puede usar el viscosímetro de Marsh para lechadas muy fluidas, o bien el vaciado desde 30cm en un material impermeable, de lechada contenida en un cilindro de 5 por 10cm, para lechadas con arena. En este último caso, el diámetro de la lechada es un índice de su fluidez.

La inyección se hace a presiones de 0.5 a 1kg/cm<sup>2</sup> aunque la presión dependerá del nivel de daño en el muro y de la calidad de la mampostería. Si se emplean altas presiones, es probable que burbujas de aire dentro de la lechada queden atrapadas de modo que puedan provocar una rápida separación o filtrado de los sólidos al penetrar en la grieta. Esto se resuelve usando la presión más baja posible. La inyección debe hacerse de abajo hacia arriba como se describió con anterioridad. Una vez que sale la lechada por la boquilla inmediata superior, conviene mantener la inyección por 30 s adicionales, para asegurar la compactación de la lechada. Adicionalmente, para evitar problemas de estabilidad estructural, se debe revisar que la presión hidrostática producto de la lechada inyectada no sea excesiva. Se recomienda iniciar con la inyección de las grietas de mayor anchura.

Para inyectar, se usa un recipiente a presión que posea un regulador y un manómetro para verificar y mantener la presión de inyección señalada. La bomba de pistón debe contar con accesorios adecuados para conectar las mangueras a las boquillas de inyección.

Para lograr un curado adecuado, es recomendable retirar el sellador de grietas cuando menos 24 h después de la inyección. Como se dijo, los selladores de vinilo son semisolubles al agua, lo cual facilita su retiro con agua y un cepillo de cerdas rígidas. Las pastas de resina epóxica se retiran con soplete y una cuña metálica.

Se ha encontrado que si la relación agua/sólidos aumenta, mejora la penetración de la lechada en las grietas, pero se incrementa la segregación y el sangrado. La estabilidad de la lechada se puede mejorar si se usan aditivos superfluidizante o humo de sílice.

Algunos investigadores han recomendado mantener la relación agua/cementantes entre 0.75 y 1.0 para cemento Pórtland tipo I, usar aditivos superfluidizantes y



estabilizadores de volumen, así como humo de sílice para mejorar la estabilidad e incrementar las resistencias (tensión y adherencia). Aun más, los aditivos estabilizadores de volumen disminuyen la contracción plástica y mejoran la adherencia. Sugieren dosificar el superfluidizante en 2% del peso de materiales cementantes. Si se usa cemento Pórtland tipo III y humo de sílice se obtienen resistencias superiores a tensión y adherencia, así como lechadas más estables. El humo de sílice tiene la ventaja adicional de retener agua y de reducir la tendencia de la lechada de endurecerse prematuramente mientras fluye por aberturas pequeñas. Se ha observado que la cal, la ceniza volante y el mortero para albañilería no mejoran las características de la lechada de modo importante; su uso no es recomendable.

Muros que han sido reparados mediante inyección de morteros de cemento han recuperado, e incluso mejorado, su resistencia (80 a 120% de recuperación), rigidez (50 a 100%) y capacidad de deformación (80 a 90%) con respecto a las propiedades originales. La inyección de grietas y huecos con lechadas de cemento, en combinación con la colocación de tensores, han demostrado un excelente desempeño para reforzar parapetos de azotea y evitar su falla fuera de plano.

### **Reparación de grietas con rajuelas**

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

### **INSERCIÓN DE BARRAS DE REFUERZO**

Otra técnica de rehabilitación de muros de mampostería consiste en colocar barras de refuerzo a lo largo de las juntas de mortero. Para alojarlas, se requiere preparar la junta con ranuras longitudinales y practicar barrenos transversales al muro a ciertos intervalos para amarrar a las barras entre sí (Figura 5.8). Una vez colocadas las barras, generalmente una en cada lado del muro, se recubren con mortero de cemento o tipo epóxico. Las barras se deben anclar en los extremos de los muros, preferentemente mediante ganchos estándar a 90° en los elementos confinantes, si existen.



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

Otra alternativa de reparación es engrapar las fisuras del muro. Este método es práctico si el número de grietas es pequeño. Consiste en alojar barras de refuerzo con ganchos a 90° en sus extremos (de forma de una grapa para papel) en sendas ranuras y barrenos practicados en el muro (Figura 5.9). Las ranuras y barrenos se rellenan con mortero de cemento o, de preferencia, epóxico. Las grapas se deben colocar ortogonalmente a la grieta de modo que resistan las tensiones que se producen cuando la grieta tiende a abrirse. Resultados de laboratorio han indicado un pobre comportamiento ante sismo de muros reparados con grapas debido al pandeo de las grapas inclinadas cuando el sentido de aplicación de la acción se invierte y las grapas tienen que trabajar a compresión. Sin embargo, su desempeño ante acciones monótonas ha sido satisfactorio. Esta técnica es bastante popular para restaurar monumentos históricos.

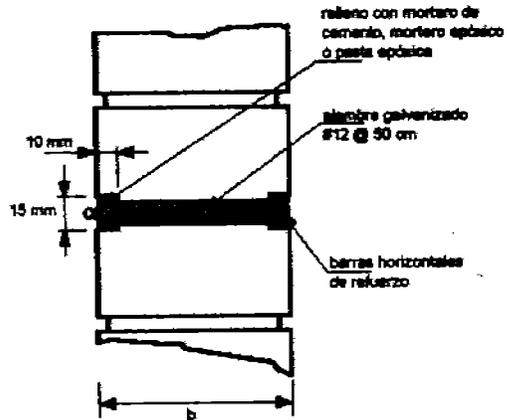
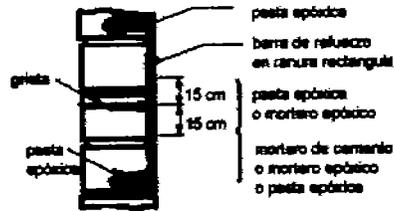
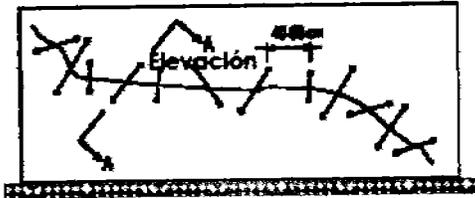


Figura 5.8. EJEMPLO DE INSERCIÓN DE BARRAS DE REFUERZO EN LAS JUNTAS DE UN MURO.



Corte A-A

Figura 5.9. COLOCACIÓN DE GRAPAS SOBRE GRIETAS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA.



## **Encamisado de muros**

El término encamisado se refiere esencialmente al aumento de la sección transversal del muro mediante la colocación una capa de concreto, mortero o algún material similar, reforzado con barras de acero convencionales, mallas de alambre electrosoldadas, mallas o bandas sintéticas u otras.

Los muros se pueden rehabilitar adosando mallas metálicas al muro y recubriéndolas con mortero de cemento colocado a mano o bien lanzado. Además, se pueden encamisar con ferrocemento, con un aplanado de concreto lanzado con fibras metálicas o con materiales sintéticos. Aunque los encamisados de ferrocemento se han sugerido como una opción, no existe información suficiente sobre su desempeño, de modo que no se discutirá este tema.

Una desventaja del encamisado de muros es la modificación de la apariencia de la estructura, lo cual puede ser determinante si el edificio posee un valor histórico o estético sobresaliente.

### **Encamisado con mallas metálicas**

Sin duda alguna, la técnica más confiable, eficiente y económica es la colocación de mallas metálicas, preferentemente electrosoldadas o hechas con barras convencionales, adecuadamente ancladas a los muros y recubiertas con 3cm o más de mortero o concreto lanzado. Con esta técnica se pueden esperar incrementos en resistencia, rigidez y capacidad de deformación originales superiores al 50, 20 y 100%, respectivamente. Además, el aumento de la resistencia a carga lateral debido a la malla conduce a que el costo por unidad de carga resistida sea menor que en muros confinados con o sin refuerzo horizontal. La técnica se ha usado profusamente en varios países del mundo.

Se ha demostrado que el comportamiento de muros con daño muy severo (agrietamiento inclinado de 2cm de anchura y aplastamiento del concreto en los extremos de los castillos) reparados con mallas electrosoldadas y recubrimiento de mortero fue incluso mejor que el de la estructura original en términos de resistencia y capacidad de deformación (Figura 5.10). La rigidez de la estructura reparada fue  $2/3$  veces la original.

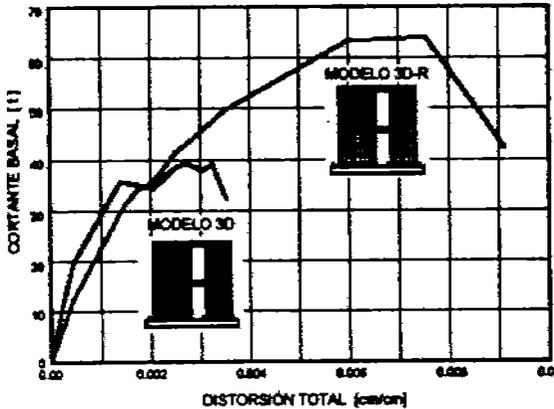


Figura 5.10. ENVOLVENTES DE RESPUESTA DE UNA ESTRUCTURA DE MAMPOSTERÍA ORIGINAL Y REPARADA CON MALLAS RECUBIERTAS CON MORTERO.

A continuación se presentan las recomendaciones desarrolladas a partir de los resultados experimentales. Éstas son también aplicables a muros con daño rehabilitados con encamisado con mallas metálicas.

Para lograr un comportamiento monolítico del encamisado con la mampostería existente, es indispensable tratar la superficie del muro antes de colocar la malla y aplicar el mortero. Se debe retirar todo recubrimiento del muro y, en caso de muros dañados, los fragmentos y piezas sueltas de la superficie de la mampostería; limpiar el polvo y las partículas en el interior de las grietas mediante chorro de agua. Previo al encamisado, se recomienda reparar las grietas de acuerdo con la sección 5.3.

Para espesores de 3 ó 4cm, no representa ningún inconveniente adosar las mallas directamente al muro.

En muros hechos con piezas macizas, las mallas de calibre pequeño (8 y 10) se pueden fijar con clavos de 64mm de longitud para madera colocados manualmente con martillo

(Figura 5.11). Se recomienda una densidad de 9 clavos por  $m^2$ ; si las piezas son de mala calidad, se puede incrementar la densidad a  $16/m^2$ . Para mallas de mayor calibre (calibre 4 o alambres con 6,4mm de diámetro, por ejemplo), se recomienda usar clavos *Hilti* tipo X-ZF o similar, de 51mm de longitud con arandela (Figuras 5.12 y 5.13). Estos clavos son fijados a pólvora con una pistola especial. Se recomienda usar una densidad de 9 fijadores por  $m^2$ . Los fijadores *Hilti* o similar, también pueden ser usados en mallas de bajo calibre. Aunque por pieza son más caros que un clavo, incluyendo el cartucho de pólvora, el rendimiento en su colocación es mucho mayor, y el desperdicio es prácticamente nulo.



Eventualmente, el costo de la herramienta para la colocación de los fijadores se amortizará fácilmente.

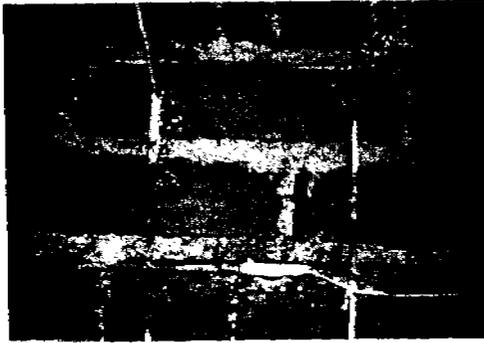


Figura 5.11. MALLA METÁLICA ANCLADA A UN MURO DE MAMPOSTERÍA CON CLAVOS.

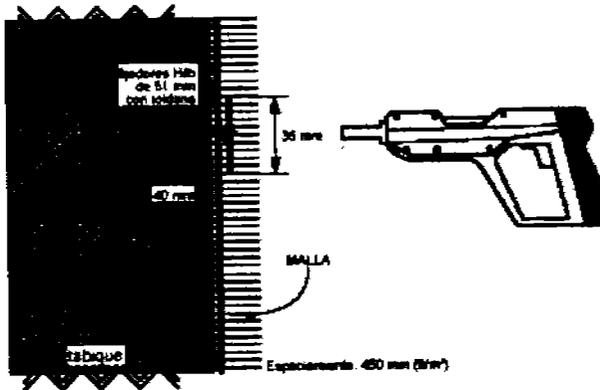


Figura 5.12. FIJADORES HILTI TIPO X-ZF Y HERRAMIENTA PARA COLOCACIÓN.

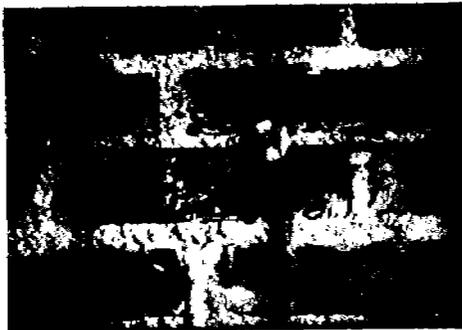


Figura 5.13. MALLA METÁLICA ANCLADA A UN MURO DE MAMPOSTERÍA CON FIJADORES HILTI



En la práctica nacional y en la literatura mundial sobre el tema, se ha sugerido el uso de alambres (grapas o sujetadores) que pasen de lado a lado del muro para fijar mallas en ambos lados. Esta solución es más costosa que usar clavos tipo *Hilti* colocados con pistola; sin embargo, el comportamiento del muro es comparable. La separación máxima recomendada es de 80cm.

En muros hechos con piezas huecas, como los bloques de concreto, se han empleado alcayatas hechas de acero de bajo carbono (tipo A-36) o de barra corrugada de refuerzo convencional. Se puede obtener un comportamiento satisfactorio si las alcayatas se alojan en las juntas de mortero y si tienen una longitud igual al espesor del muro. Con esto se logra que la alcayata quede apoyada en las dos cáscaras exteriores del bloque. En contraste, si la alcayata se conecta solamente a una cara del muro, la conexión es flexible y poco resistente. Los resultados no sostienen la necesidad de colocar placas de acero en el extremo posterior de la alcayata; la reacción de ésta en su longitud, ya sea sobre las paredes de la pieza o sobre la junta de mortero, es suficiente para desarrollar fluencia del acero de la alcayata. Adicionalmente, se evalúa la idoneidad de anclar las mallas en la periferia del muro en lugar de usar fijadores distribuidos uniformemente sobre el muro.

Las mallas deben rodear a los castillos (Figura 5.14). Esto se puede resolver traslapando la malla en forma de U que rodeará el castillo con las mallas sobre el muro. Para el traslape se siguen las recomendaciones para diseño de estructuras de concreto reforzado.



Figura 5.14. CONFINAMIENTO DE UN CASTILLO CON MALLAS METÁLICAS QUE HAN SIDO TRASLAPADAS.

Las mallas deben ser continuas en muros ortogonales; en los cambios de dirección conviene incrementar el número de fijadores. Si las mallas no se pueden doblar, debido particularmente a que son de alto calibre, se pueden usar mallas de menor calibre traslapadas adecuadamente. Las mallas deben rodear las aberturas en los muros.

El mortero se puede colocar manualmente o bien con dispositivos neumáticos (lanzado), siguiendo los procedimientos recomendados para concreto lanzado. Se ha observado que, con una buena ejecución, muros con recubrimiento de concreto lanzado tienen una mayor resistencia y rigidez que aquéllos con mortero colocado manualmente. En cualquier caso, antes de aplicar el mortero, se debe saturar la superficie del muro.



Para concreto (o mortero) lanzado se puede seguir el método de la mezcla seca o el de la húmeda. En el primero, se premezclan los cementantes y los agregados, se llevan mediante aire comprimido a la boquilla y ahí se mezclan con agua para su lanzamiento. Un problema asociado a este método es la presencia de huecos en el concreto lanzado debido al rebote de la mezcla en las superficies de la estructura existente, lo cual es común cuando existen varias parrillas de refuerzo o si el refuerzo es muy denso. Otro problema es el agrietamiento por contracción, asociado a mezclas con altos consumos de cemento, exceso de agua o curado inadecuado. Para aliviar estos problemas, se recomienda emplear aditivos como humos de sílice o fibras de prolipopileno. Los humos de sílice tienen ventajas adicionales, ya que permiten incrementar el espesor de capa que se puede aplicar; aumentan la densidad de la mezcla; incrementan las resistencias a los agentes químicos, a ciclos de congelamiento y descongelamiento, a la adherencia, a la flexión y a la compresión; disminuyen el rebote del material lanzado. Las fibras de prolipopileno reducen el agrietamiento por contracción plástica.

En el método de concreto lanzado por vía húmeda, se mezclan los cementantes, agregados y agua en un recipiente, para ser posteriormente inyectados mediante aire comprimido a través de una manguera y ser expulsados por una boquilla. Los problemas y soluciones señalados para el método seco son aplicables.

En caso de mampostería confinada será necesario anclar las mallas a los castillos y dalas, así como recubrir estos elementos con el mortero o concreto del encamisado. Se ha demostrado que la transferencia de cortante a través de interfaces de concreto nuevo y existente el hecho de que prácticamente cualquier tratamiento para incrementar la rugosidad de la superficie es adecuado para transmitir las fuerzas, mientras se retire la capa exterior de lechada y el polvo, así como que se exponga el agregado grueso. Los resultados de los experimentos no parecen justificar el uso de aditivos tipo adhesivo.

Conviene que el mortero que se use para recubrir las mallas sea lo más resistente y rígido posible (tipo I). Para incrementar la durabilidad del mortero de recubrimiento, se deben seguir las recomendaciones para buena práctica para concreto, en particular en lo relacionado con la graduación de la arena. En efecto, si la arena que se usa para el mortero contiene demasiados finos, se incrementa la probabilidad de fisuramiento por contracción, lo que facilita la penetración de humedad y cloruros, y aumenta el riesgo de corrosión.

Es conveniente extender el encamisado de los muros de planta baja a los cimientos del muro. Si es necesario reforzar estos últimos, se deben abrir cepas de tamaño suficiente para aumentar la base del cimiento, limpiando perfectamente las

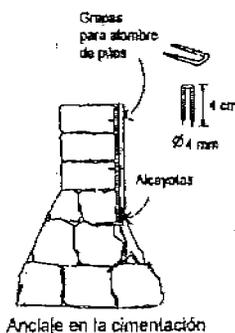


Figura 5.15. Confinamiento de un castillo



caras de la mampostería y quitando las piedras necesarias para formar llaves de corte con el mortero de recubrimiento. Resulta obvio la conveniencia de prestar atención a la impermeabilización del encamisado que esté expuesto a la humedad del terreno.

El refuerzo de muros con mallas metálicas ofrece una ventaja constructiva sobre la inserción de refuerzo horizontal: la facilidad de inspección y supervisión en obra. En efecto, se puede revisar fácilmente que la malla se haya colocado sobre el muro. Aunque una vez que el muro se ha cubierto con mortero, no es fácil asegurar que el anclaje se haya ejecutado adecuadamente, conviene destacar que en una estructura es probable que el número de muros reforzados con malla sea bajo, de modo que se pueda esperar una supervisión más estricta en la construcción de estos muros.

### **Encamisado con mallas y bandas plásticas**

Recientemente se han venido aplicando encamisados (totales o parciales) de muros de mampostería con materiales plásticos. Las estructuras son reforzadas usando la capacidad de carga a tensión de las fibras plásticas, de modo análogo al papel que juega el acero de refuerzo en el concreto. Esta propiedad se puede usar para reforzar a flexión, corte o compresión, dependiendo de cómo se orienta el material plástico. Así, por ejemplo, para reforzar a flexión un muro, el material compuesto se coloca externamente sobre la cara a tensión, de modo que las fibras largas sean colineales con el eje vertical del muro.

#### **Fibras**

De la gran cantidad de materiales desarrollados y ensayados en las industrias aeroespacial, automotriz y de deportes, sólo unos cuantos se han adoptado y refinado para ser usados en estructuras.

Las fibras usadas son largas y continuas, y pueden ser de vidrio, carbono o aramid. Las fibras pueden exhibir varias configuraciones: cables, bandas unidireccionales, o telas. La configuración afecta la tasa de saturación de la resina, así como la forma en que ésta humedece a las fibras. Adicionalmente, influye en la facilidad para su aplicación y para adaptarse al contorno del elemento.

La fibra de vidrio más usada es la tipo E. La tipo S tiene una mayor resistencia a tensión y la AR mejor resistencia a los álcalis; sin embargo, ambas son muy costosas.

Las fibras de aramid, que son mejor conocidas por el nombre comercial de una de ellas, *kevlar*, poseen una alta resistencia, bajo peso y una excelente resistencia al impacto. Es la menos usada de los tres grupos.



Las fibras de carbono poseen propiedades mecánicas y una resistencia al ambiente idóneas para uso externo en rehabilitación estructural. La rigidez a tensión de las fibras de alta resistencia es mayor que la de fibra de vidrio; no obstante, se pueden usar fibras más rígidas aún.

Las ventajas de las fibras son su excelente durabilidad, y las altas relaciones de resistencia/peso y rigidez/peso, en comparación con placas de acero.

La alta rigidez axial de las fibras de carbono o grafito son responsables que el flujo plástico en la matriz resinosa sea pequeño.

### **Resinas**

El papel de las resinas, o del material de la matriz de los materiales sintéticos, es distribuir la carga a las fibras. La resina sirve también para mantener a las fibras alineadas, así como para protegerlas del ambiente. Las tres resinas que más se usan son poliéster isoftálico, viniléster y epóxica.

Las resinas de poliéster isoftálico son de bajo precio, aunque sus propiedades son inferiores a las de otras resinas. Exhiben altas contracciones cuando curan; sin embargo, esta desventaja se puede eliminar si se aplican en camisas prefabricadas.

La formulación química de resinas de viniléster está relacionada con la de los poliésteres y epóxicos, de aquí que exhiben características de ambas. Al igual que con las resinas de poliéster, su uso en camisas prefabricadas reduce el efecto de su alta contracción volumétrica.

Las resinas epóxicas poseen propiedades mecánicas bien conocidas y una excelente adhesión a varias fibras, así como a materiales base y de relleno. En contraste con los productos con poliéster y viniléster, las resinas epóxicas no emiten estirenos.

El tipo de resina y la clase de fibra deben ser compatibles para la aplicación deseada. Las resinas de poliéster y viniléster se usan con fibras de vidrio, mientras que las epóxicas se pueden usar para las tres clases de fibras.

Las fibras plásticas no exhiben deterioro de su resistencia a tensión por exposición a rayos ultravioleta (UV); no así la resina epóxica, que se vuelve blanca con la exposición. Por tanto, si se espera que el sistema fibra-resina esté expuesto a la luz solar directa, será



necesario protegerlo con una capa que limite la radiación UV. Pruebas de laboratorio han indicado que un recubrimiento de uretano sobre fibras de carbono ayuda a mantener la resistencia a tensión aún después de 4 000 horas de exposición a UV; en las fibras de vidrio y de aramid, se observa una disminución del 10 al 20% de su resistencia.

### **Métodos de aplicación**

Son cinco los principales métodos de aplicación de fibras plásticas para rehabilitación estructural.

1. Placas rígidas. Su aplicación es similar a la de las placas metálicas. De una hoja de material compuesto, ya curado, se corta una placa con la longitud y anchura necesarias, y se adhiere a la superficie ya preparada del elemento por ser reforzado.

2. Camisas prefabricadas. Son tubos circulares u ovales, de gran diámetro y espesor pequeño, que se fabrican y curan en taller. Las camisas, que poseen un corte longitudinal, se colocan envolviendo al elemento y se cierran con adhesivos, zunchándolas mientras curan.

3. Cables enrollados. Se enrollan cables de fibra en elementos tipo columna. Los cables pueden ser impregnados de resina en el campo o bien pueden llegar de la fábrica ya impregnados.

4. Bandas pultruidas. El término pultrusión se refiere al proceso de estirado de fibras continuas a través de un dado simultáneamente a la impregnación de resina sin curar, de modo de formar una banda angosta de sección transversal constante. Este proceso se lleva a cabo en fábricas, de modo que, la banda ya curada, es adherida a las superficies del elemento ya preparadas.

5. Colocación en húmedo. En este método, una tela u hoja se satura con resina en el sitio y se coloca sobre el elemento formando una lámina de material compuesto. La saturación se puede lograr con técnicas manuales o mecánicas.

La colocación de fibras de materiales sintéticos (compuestos) para rehabilitar estructuras de mampostería, permiten:

- incrementar el confinamiento de muros, lo que se traduce en resistencias superiores y una mayor capacidad de deformación
- aumentar la resistencia a flexión fuera del plano
- mejorar la resistencia a corte en el plano
- aumentar la masa del edificio y el espesor de muros en cantidades despreciables



- no modificar la cimentación
- rapidez en la construcción, ya que las fibras se cortan en obra y no se requiere desalojar el edificio
- facilidad en la construcción, puesto que no es necesario colocar pernos de anclaje.



Figura 5.16. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA CON RESINA EPÓXICA.

Una desventaja es que se pierde la apariencia de la mampostería, aspecto que puede ser importante si la estética del edificio es un factor determinante para escoger el sistema de rehabilitación.

Los resultados experimentales indican que el encamisado con materiales sintéticos es altamente efectivo para incrementar la resistencia a cargas

laterales, reducir las deformaciones por corte y para mejorar la ductilidad de la edificación completa. Se han propuesto diagramas de interacción adimensionales para facilitar el diseño de este tipo de esquemas.

Se ha sugerido que las bandas unidireccionales son preferibles sobre las telas bidireccionales que cubren toda la superficie del muro. Si se usan bandas, deben orientarse de modo que crucen perpendicularmente a las grietas inclinadas; Algunos autores han presentado la aplicación de modelos de puntales y tensores para optimizar el diseño e instalación. Si se emplean fibras en forma de telas, se recomienda orientar las fibras horizontalmente para cruzar las grietas diagonales o de corte, de modo de permitir que las grietas a flexión se abran. Las fuerzas que se pueden transmitir a las camisas sintéticas están limitadas por la resistencia al corte rasante o la resistencia a tensión de la mampostería.



Figura 5.17. ENSAYOS PRELIMINARES DE TENSIÓN PARA VERIFICAR QUE LA RESISTENCIA DEL MATERIAL BASE, SEA ADECUADA PARA COLOCAR LAS BANDAS DE FIBRAS DE CARBONO.



Es recomendable confinar los talones de un muro, si es posible, de modo de controlar el aplastamiento por compresión y una falla por estabilidad lateral del talón de compresión.

El incremento de la resistencia a flexión en el plano depende de un anclaje adecuado de la fibra; si se usan pequeñas longitudes de desarrollo y/o no se colocan anclajes en los extremos de las fibras y/o la resistencia a tensión del material base es baja, se puede producir fallas prematuras caracterizadas por desprendimiento de las láminas debajo de la resina.



Figura 5.18. COLOCACIÓN DE BANDAS DE FIBRAS DE CARBONO.

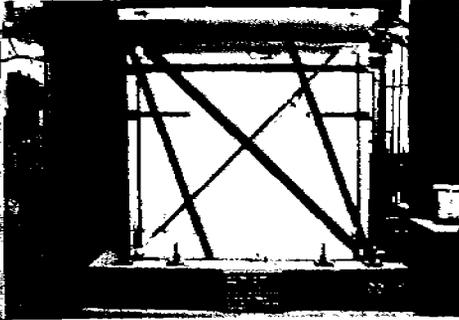


Figura 5.19. REHABILITACIÓN DE UN MURO DE MAMPOSTERÍA USANDO BANDAS DE FIBRAS DE CARBONO; EN LA CARA POSTERIOR LAS BANDAS SE ORIENTAN EN DIRECCIÓN ORTOGONAL A LAS MOSTRADAS EN LA FOTOGRAFÍA.



Figura 5.20. DESPRENDIMIENTO DE LAS LÁMINAS SINTÉTICAS DEBIDO A UNA DEFICIENTE RESISTENCIA A TENSIÓN DE LOS TABIQUES

Este sistema ofrece la ventaja de ser compatible con el material base de la mampostería, tanto en términos de adherencia, permeabilidad y coeficiente de expansión térmica. La matriz debe poseer propiedades mecánicas adecuadas para transmitir la carga; una consistencia adecuada para

penetrar las telas sintéticas; buena adherencia; compatibilidades térmica y química con las fibras y el material base; buena resistencia a la temperatura y fuego; además, debe ser trabajable y no ser contaminante.



Actualmente, el costo de rehabilitar con materiales sintéticos es muy alto; sin duda que, conforme se mejoren los procesos de fabricación y se difunda más esta tecnología, los costos bajarán.

## **Adición de elementos confinantes de concreto reforzado**

Con objeto de mejorar el comportamiento de toda la estructura, y no solamente de ciertos muros, es a menudo necesario construir castillos y dalas, ya sea porque no existen o bien porque sus dimensiones, ubicación o detallado son inadecuados. Los armados deben estar debidamente anclados para desarrollar la resistencia de diseño. Se sugiere revisar las recomendaciones que para construcciones nuevas se han hecho y que son, la mayoría, aplicables a este caso.

## **5.6. CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO**

Uno de los problemas más serios y complejos asociados a la durabilidad de las estructuras es la corrosión<sup>3</sup> del refuerzo o de los metales ahogados en concreto o mampostería.

El concreto es un material con alta alcalinidad, con valores pH entre 12 y 13. En este ambiente el acero ahogado permanece protegido de la corrosión por una película pasiva que está adherida a la superficie de la barra. Cuando esta capa se altera, puede ocurrir corrosión. La corrosión se acelerará si el pH baja debido a carbonatación, o bien, si penetran al concreto o ahogan en él, agentes químicos agresivos o materiales metálicos distintos. Este último caso se conoce como corrosión galvánica.

El agrietamiento y desconchamiento del concreto debidos a la corrosión dependen, fundamentalmente, de la resistencia a tensión del concreto, la calidad del recubrimiento, la adherencia entre las barras y el concreto, el diámetro de la barra y de la cuantía de corrosión. En particular, es relevante la relación entre el recubrimiento  $r$ , y el diámetro de la barra  $db$ . Así, mientras menor sea esta relación, para un mismo diámetro de barra, menor será la cuantía de corrosión necesaria para agrietar el concreto. Por ejemplo, para  $r/db$  de 3 y barras del no. 4, se requiere 1% de corrosión para producir agrietamiento, mientras que para una relación de 7, se requiere 4%. Se ha encontrado que la adherencia aumenta para cuantías de corrosión de 1%; a partir de este valor, disminuye rápidamente. Los cloruros en el ambiente penetran en el concreto, con ayuda de la humedad en la superficie, y llegan al acero de refuerzo (Figura 41). Durante este proceso, el concreto se agrieta y desprende debido a la expansión del acero corroído, lo que se traduce en una mayor penetración de cloruros y, por ende, en más corrosión. La penetración de cloruros en el concreto se ve favorecida cuando:



- existe una alta concentración de cloruros en el ambiente
- el concreto es permeable
- la humedad es alta
- cuando el pH del concreto es alto;

La anchura máxima permitida de grietas o juntas para evitar corrosión, varía según la condición de exposición. En condiciones secas, la anchura máxima es de 0,4mm; en contacto con humedad, aire húmedo o suelos, de 0,3mm; en contacto con agua y brisa de mar, 0,15mm.

Los cloruros pueden entrar al concreto si se usan aditivos acelerantes, arena de mar o agua de mar. Si se considera que el concreto reforzado estará en un ambiente húmedo y expuesto a cloruros, se recomienda que el porcentaje de cloro por peso de cemento sea menor de 0,10; si no estará expuesto a cloruros, este valor puede subir a 0,15.

Como se dijo antes, la corrosión del acero puede ocurrir debido a la carbonatación del concreto. Ésta es una reacción entre gases ácidos en la atmósfera y productos de la hidratación del cemento. El dióxido de carbono de la atmósfera penetra al concreto y se difunde reaccionando con el hidróxido de calcio presente en el concreto. Como resultado, el pH baja a 10 y, consecuentemente, se pierde la protección contra la corrosión. En esta circunstancia, la corrosión empieza rápidamente. Se ha estimado que en concretos de buena calidad, la tasa de avance de la carbonatación es del mm/año; este proceso requiere ciclos de secado-mojado.

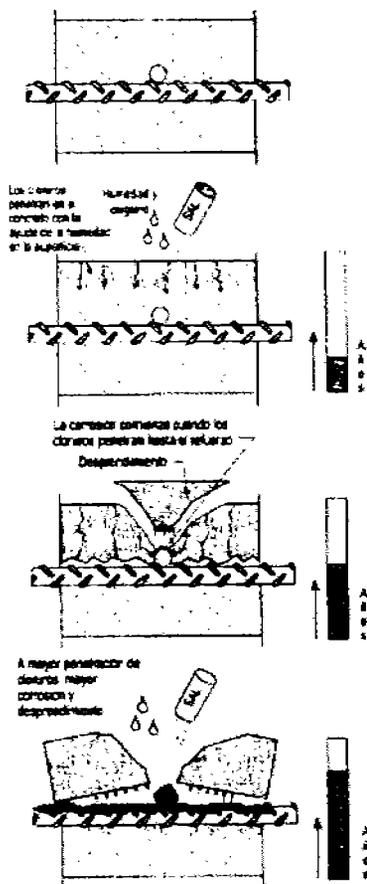


Figura 5.21. PENETRACIÓN DE CLORUROS EN EL CONCRETO.

Otro tipo de corrosión es la galvánica. Esta ocurre cuando dos materiales metálicos diferentes se dejan ahogados en el concreto. En presencia de cloruros y humedad, estos metales forman un par galvánico, que se caracteriza por un flujo de electrones desde el ánodo al cátodo y de iones en sentido inverso. Con el tiempo, el ánodo se oxida, provocando expansiones y agrietamiento del concreto que lo rodea. En la lista que sigue se han ordenado los metales de modo creciente según su actividad: 1. Zinc; 2. Aluminio; 3. Acero; 4. Hierro; 5. Níquel; 6. Estaño; 7. Plomo; 8. Latón; 9. Cobre; 10. Bronce; 11. Acero inoxidable; 12. Oro. Cuando



dos metales están en contacto, vía un electrolito activo, el metal menos activo de esta serie (con el menor número), se corroe.

Frecuentemente, cuando se evalúa una estructura con corrosión importante en las barras de refuerzo, surge la duda sobre la resistencia remanente de la barra. Esta disminuye si se pierde sección; se ha encontrado que si el porcentaje de corrosión es hasta de un 1,5%, la resistencia de la barra es igual a la nominal. Si el porcentaje de corrosión es de 4,5%, la resistencia es 15% menor que la nominal.

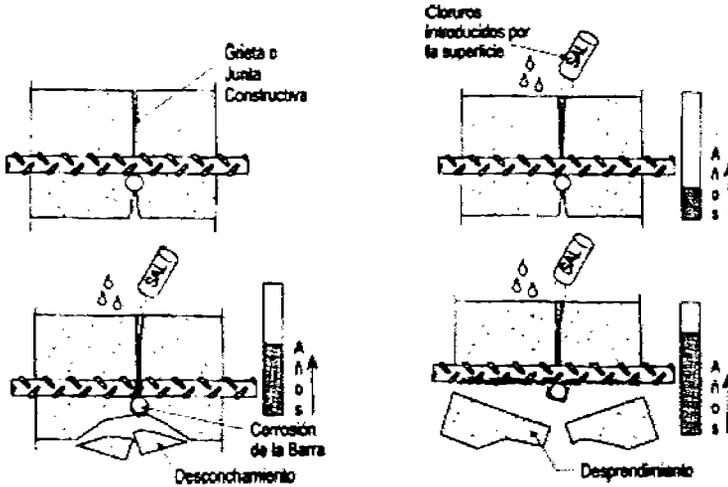


Figura 5.22. EFECTO DE GRIETAS O JUNTAS EN LA CORROSIÓN DEL ACERO.

En ocasiones, la corrosión se manifiesta en la parte inferior del elemento estructural (vigas, losas), pero se debe a la penetración de cloruros y humedad por grietas o juntas constructivas en la cara superior (Figura 5.22).

Antes de seleccionar el material a usar en la reparación por corrosión, es conveniente conocer los objetivos de desempeño que busca el dueño o usuario de la estructura. Así, por ejemplo, será importante conocer si la reparación debe quedar oculta o visible, cuál es la textura aceptable de la superficie; en qué condiciones de uso se realizaría la reparación; cuál es la vida útil de ésta; qué tipo de falla (agrietamiento, delaminación, separación, otras) y qué consecuencias de ella se aceptan en las personas, desempeño estructural y en el ambiente. Además, se deben identificar las condiciones ambientales y de servicio a que estará expuesta la estructura: gases, sustancias químicas, rayos ultravioleta, humedad, cambios térmicos, cargas.



Será necesario entender cómo pueden afectar las características de exposición a la superficie, el material de reparación, el refuerzo, la interfaz del concreto existente, y el concreto existente.

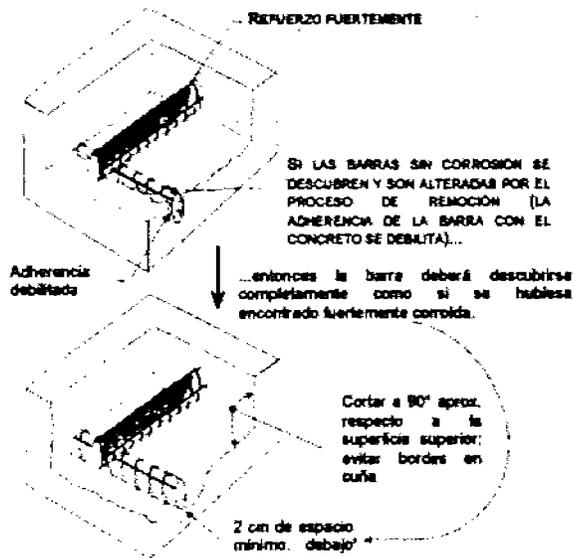
Con objeto de eliminar el agrietamiento por contracción, el material que se use deberá tener un alto contenido de agregados, los cuales deberán estar limpios y ser lo más grande posible; se deberá eliminar cualquier diseño de mezcla que exija altos contenidos de agua; se deben procurar los más bajos consumos de cemento asociados a las resistencias esperadas; y, de modo fundamental, se deben curar adecuadamente. En la Tabla 5.3 se ilustra la interacción entre las relaciones agua/cemento y cemento/agregado en la contracción por fraguado.

Tabla 5.3. Interacción entre las relaciones agua/cemento y cemento/agregado en la contracción por fraguado de materiales de reparación.

Relación cemento/agregado	Relación agua/cemento				Contracción
	0,4	0,5	0,6	0,7	
3	0,08	0,12			Alta
4	0,055	0,085	0,105		
5	0,04	0,06	0,075	0,085	Moderada
6	0,03	0,04	0,055	0,065	
7	0,02	0,03	0,04	0,05	Baja

Figura 5.23. PREPARACIÓN DEL CONCRETO EN UNA ZONA AFECTADA POR CORROSIÓN.

Para reparar una zona dañada por corrosión del acero de refuerzo se debe practicar una caja, con cortes a 90°, que expongan el acero corroído (Figura 5.23). Los primeros 2cm de profundidad sobre el perímetro de la caja se cortan usando disco. El concreto se puede retirar mediante cincel y martillo, un martillo neumático o eléctrico, o chorro de agua a presión.



Si al descubrir el acero, se observan barras corroídas en contacto con sanas, se deberán descubrir completamente dejando, cuando menos, 2cm libres debajo de ellas. Lo anterior obedece a que durante los trabajos de demolición del concreto se pudo haber



deteriorado la adherencia del refuerzo sano con el concreto circundante. La colocación de concreto nuevo para rellenar la caja, de modo que cubra al acero corroído y al sano, pretende restituir la adherencia.

Posteriormente, se limpian las superficies del acero y del concreto. Las barras de acero se pueden limpiar usando un escarificador de agujas, con agua a alta presión (210 a 700 kg/cm<sup>2</sup>, o 21 a 70 MPa), con chorro abrasivo de arena (*sandblasteado*), o con carda de metal. En cualquier caso, se debe asegurar la limpieza del perímetro completo de la barra; es frecuente que la limpieza sea imperfecta por una incorrecta aplicación de las técnicas de limpieza (Figura 5.24).

Se debe prestar atención a limpiar la superficie de concreto de la caja de modo de retirar polvo, pedazos sueltos y cualquier otro material que reduzca la adherencia entre el concreto y material de reparación. Si las barras han perdido más de un 25% de su sección transversal, será necesario reemplazarlas bien colocar barras supletorias ancladas adecuadamente.

Existen varias estrategias para inhibir el proceso de corrosión:

- aplicar a la superficie del elemento una película selladora que reduzca la permeabilidad; con esta película se crea una barrera a los cloruros
- colocar un material hidrófobo que penetre en el concreto; esta es una doble protección, ya que la barrera a los cloruros no sólo existe en la superficie
- reemplazar el concreto afectado por uno con aditivos especiales que reduzcan la permeabilidad y con mejores propiedades mecánicas
- combinar los procedimientos anteriores

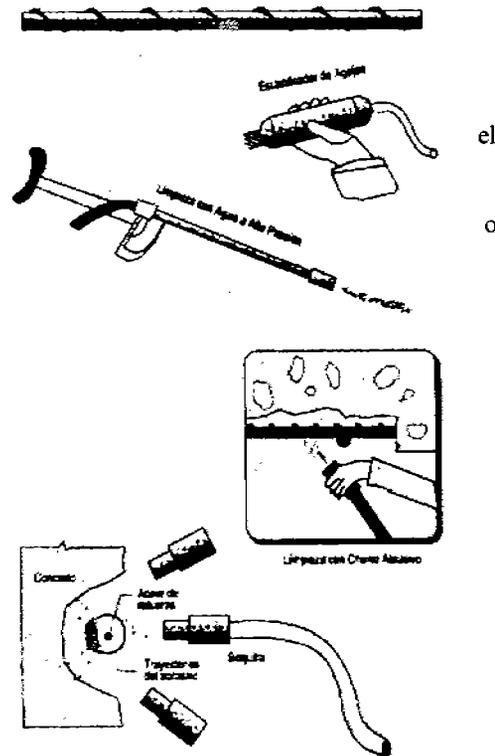


Figura 5.24. LIMPIEZA DEL ACERO DE REFUERZO.



## 5.7. RECIMENTACIONES Y RENIVELACIONES

En esta sección se describen, de modo breve, las distintas opciones que se pueden seguir para recimentar y/o renivelar una estructura de mampostería.

Puesto que las estructuras de mampostería son relativamente bajas, en comparación con otras de acero o concreto, sus cimentaciones son superficiales. Éstas pueden estar resueltas con zapatas corridas, de concreto o de piedra braza, o con losas de concreto con contratraves de rigidez.

Los problemas más frecuentes que se presentan en la práctica son los hundimientos diferenciales. Este es el caso de edificios desplantados en zonas con suelos blandos, como la del lago en el Distrito Federal, siendo más graves los problemas cuando se encuentran en las fronteras de suelos con rigideces muy diferentes.

Las técnicas para renivelar han consistido casi siempre en hacer descender la parte que ha quedado alta; lo más frecuente ha sido reforzar la cimentación y excavar el suelo inmediato a ella para permitir el hundimiento correctivo. Sin embargo, en sí la renivelación se orienta a corregir el desplomo de estructuras, sin necesariamente, requerir el refuerzo de su cimentación.

Los edificios se pueden recimentar y/o renivelar empleando pilotes de control, subexcavación y micropilotes. La selección del método por usar queda a responsabilidad del ingeniero especialista en geotecnia, después de interpretar la condición peculiar de su caso y la congruencia del tipo que elija.

## 5.8. MAMPOSTERÍA DE ADOBE

Como es conocido, la mayoría de las viviendas en el medio rural mexicano son de adobe. Este material, aunque con propiedades de aislamiento térmico y acústico excelentes, ha demostrado un pobre comportamiento cuando se somete a acciones sísmicas. Una característica del material es su baja resistencia a tensión, lo que se traduce en agrietamientos por tensión diagonal, por corte o verticales que pueden conducir al colapso parcial o total de la estructura.

Para los pobladores de las zonas rurales, generalmente de ingresos muy bajos, su casa es prácticamente todo su patrimonio. Su pobre economía los obliga a que, en caso de colapsos parciales o totales, reconstruyan la vivienda con los mismos materiales de la original, incluso, el hecho de llegar a utilizar los mismos adobes.



Las viviendas más comunes se caracterizan por un cuerpo principal de un solo piso, una planta rectangular alargada de 30 a 50m<sup>2</sup> de área, frecuentemente sin muros divisorios y muros de 3 a 3,5m de altura con espesores de 40 a 60cm, sin refuerzo. Los sistemas de techos varían según el clima de la región. La solución más común, propia de climas cálidos o templados, es a base de armaduras de madera con teja de barro. En una variante se colocan armaduras completas, a separaciones de 80 a 100cm, sobre las que se sujetan "listones" de madera que soportan las tejas. En otra variante, una viga robusta longitudinal descansa sobre los muros cabeceros y, en los tercios del claro, se apoya en vigas transversales; elementos de madera rolliza, por lo general, se apoyan en los muros y en la viga longitudinal y reciben los listones de madera y las tejas. En climas muy cálidos se coloca un tapanco de madera para tener mejor aislamiento. Los techos son generalmente de dos aguas con pendientes entre 25 y 50 por ciento; techos de una agua o cuatro son menos frecuentes.

En regiones de climas extremos y de escasa precipitación pluvial se emplea el terrado, en el que el techo está formado por vigas de madera con una separación aproximada de 50cm, sobre los cuales se colocan tablas de madera que soportan un relleno de tierra de 30 a 50cm de espesor. El techo se termina con una capa de mortero, generalmente de cal. Estos techos son de una agua, con pendiente inferior a 10 por ciento. El peso del techo de teja es de 60kg/m<sup>2</sup>, y el de terrado de 500kg/m<sup>2</sup>. En ningún caso el techo forma diafragma.

### **Principios básicos de estructuración de viviendas de adobe**

Con base en experiencias previas en diferentes países del mundo, se ha observado que un buen desempeño sísmico de estructuras de adobe se obtiene si se siguen los principios siguientes: la relación de esbeltez del muro, altura entre espesor, debe ser menor que ocho; la altura de los muros debe ser menor que 3.5m; y la anchura de una abertura debe ser menor que un tercio de la longitud del muro o que 1.2m.

Las estructuras con elementos horizontales de confinamiento han exhibido mejores respuestas que aquéllas que no los tienen. Independientemente del material con que este hechas, concreto o madera, las dadas deben ser continuas a lo largo de los muros, deben estar conectadas a los techos y ser reforzadas en las esquinas. La continuidad de las dadas se garantiza empalmando la madera o las barras de refuerzo, según el caso. Si son de madera, se recomienda usar elementos de 50 x 100mm como mínimo, que pasen sobre las aberturas y que estén reforzadas en las esquinas con elementos transversales clavados. Resulta conveniente resaltar la mejor resistencia al intemperismo del concreto bien fabricado, que la de la madera.

Si entendemos que las fuerzas inducidas por los sismos en los muros son producto de la masa de inercia y la aceleración, aquéllas se reducirán si se disminuye la masa. Esta última



se puede reducir si se evitan techos pesados, generalmente de tejas de barro, y se sustituyen por techos más ligeros, como son los de lámina. Otro aspecto que es importante considerar para la construcción es que el techo sea rígido en el plano. Con esto se pretende asegurar una distribución uniforme de las fuerzas de inercia entre los muros en dirección de carga. De otro modo, existirán concentraciones excesivas, así como empujes sobre los muros perpendiculares, que se traducirán en colapsos prematuros, tanto parciales como totales.

### 5.8.1. Daños observados en estructuras de mampostería de adobe

Las fallas y daños observados en estructuras de mampostería de adobe se pueden clasificar de modo grueso en (Figuras 5.25 a 5.27):

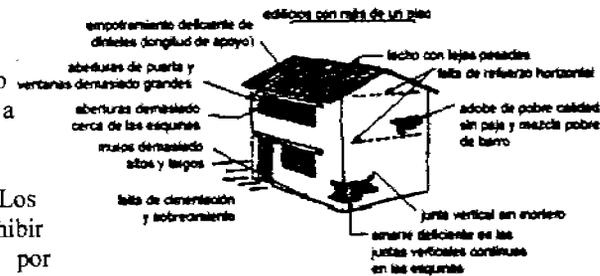
- Agrietamiento de muros. Los muros de adobe pueden exhibir grietas inclinadas, ya sea por tensión diagonal o de cortante. En particular, cuando el mortero que se emplea es de lodo, es común que el tipo de grieta sea de corte y que, por ende, siga las juntas de mortero en forma de escalera.

- Volteo. El coceo de los techos inclinados, además de las fuerzas de inercia fuera de plano, pueden provocar una grieta vertical por flexión en los lados de un muro, misma que inicia en el extremo superior. Esta grieta se extiende con los ciclos de vibración hasta que el muro se voltea. El volteo ocurre cuando la longitud agrietada del muro es suficiente para que la resultante de fuerzas caiga fuera de la sección del muro. El volteo ocurre casi siempre hacia fuera, ayudado por el coceo del techo.

- Agrietamiento y separación de muros en esquinas.

- Separación de sistemas de piso/techo de muros de apoyo.

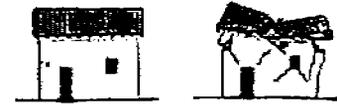
Figura 5.25. TIPOS DE DAÑO



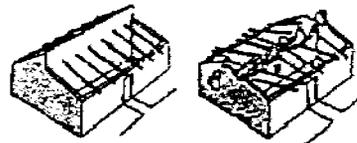
Principales causas de falla en construcciones de adobe



Colapso en una construcción de adobe sin refuerzo horizontal



Colapso en una construcción de adobe con aberturas



Colapso en una construcción de adobe por la presencia de un muro interior

Figura 5.26. FALLAS TÍPICAS DE VIVIENDAS DE ADOBE.



En general, se han observado daños de mayor consideración en viviendas con adobe intemperizado. Es claro que la humedad y la vegetación degradan el material, de modo que disminuye la capacidad sismorresistente de la construcción.

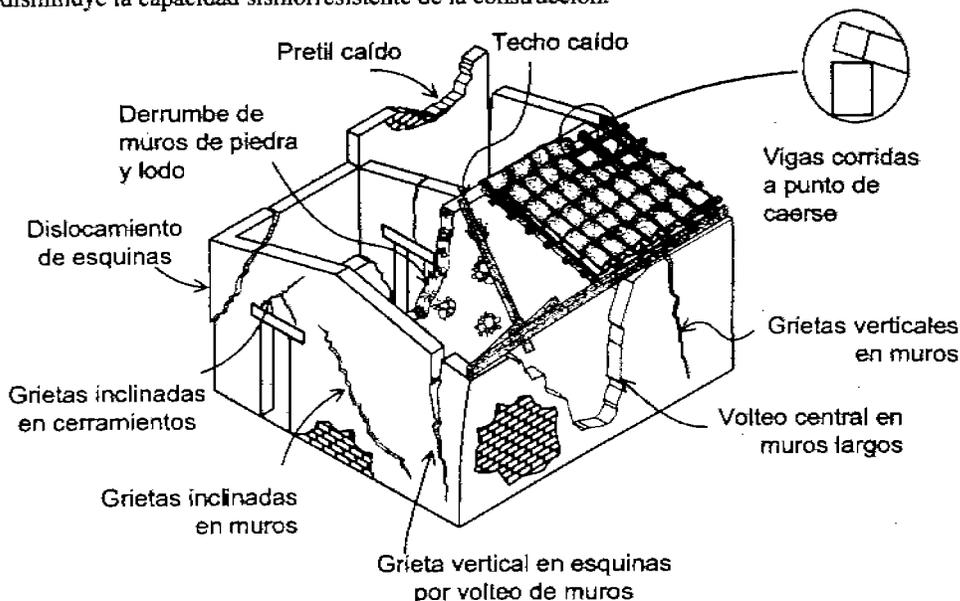


Figura 5.27. FALLAS TÍPICAS DE VIVIENDAS DE ADOBE.

## Técnicas de rehabilitación de estructuras de mampostería de adobe

Las técnicas las podemos dividir en tres: a. técnicas de reparación local; b. construcción de elementos de confinamiento y amarre; y c. encamisado de muros.

### Técnicas de reparación local

Si el muro está agrietado, será necesario reparar las grietas, rellenándolas con *rajuelas* pegadas con mortero de barro y cal.

Si el muro exhibe aplastamiento y desconchamiento de adobes, será necesaria la reconstrucción de la zona dañada. Se recomienda usar adobes con características mecánicas similares o superiores a las de los existentes.

### Construcción de elementos de confinamiento y amarre

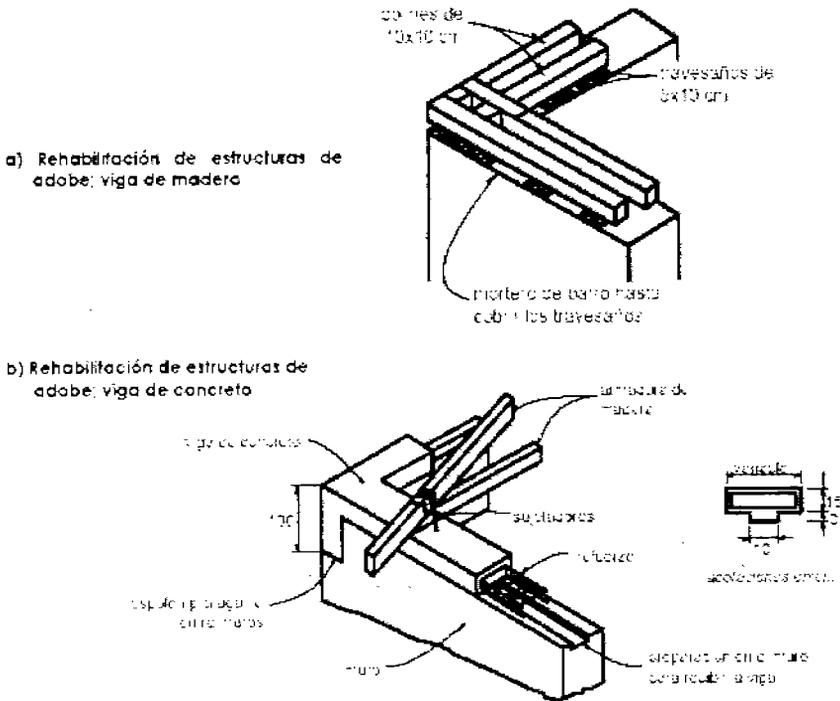


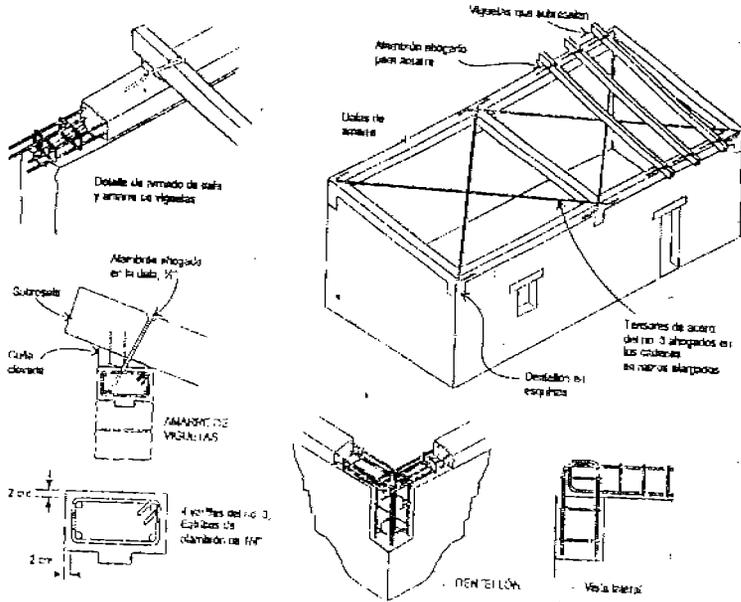
## Refuerzo con dalas de amarre y mejoras del sistema de techo

Si se observan los modos de falla de las estructuras de adobe, se puede advertir que algunos se deben a la ausencia de elementos estructurales que obliguen a trabajar a los muros como unidad tridimensional.

Para promover el trabajo en conjunto, una opción es construir una dala perimetral de concreto o de madera, que sea continua y que esté debidamente conectada al sistema de piso/techo. Esta opción tiene el inconveniente de que su construcción requiere retirar el techo. La solución con polines de madera tiene el inconveniente de que la madera sin tratamiento adecuado, se pudre y rompe.

En este método se coloca una barra de amarre con destallotes en la parte superior de los muros, así como una serie de tensores de acero que le dan estabilidad al sistema de techo y a los mismos muros. Es importante lograr un amarre adecuado entre las dalas y los dentellones, así como entre los tensores de acero y las dalas. Asimismo, para evitar la caída de los techos, se requiere que estos estén ligados a la dala de amarre. En la Figura 5.28 se presentan estas alternativas.





### Refuerzo con castillos y dalas

El método consiste en colocar castillos en las esquinas y en zonas intermedias de muros largos, así como dalas en la parte inferior y superior de los muros. Si no se puede colocar la dala inferior, cuando menos se debe construir la dala superior. Es necesario que los castillos tengan un cimiento propio y que en las uniones entre dalas y castillos, el acero de refuerzo sea cuidadosamente anclado.

Para su correcto desempeño se requiere construir cimientos para los nuevos castillos, así como retirar el sistema de piso/techo para construir las dalas. Su desempeño depende de lograr que los nuevos elementos trabajen monolíticamente con los muros de adobe. Puesto que el adobe y el concreto tienen magnitudes diferentes de cambio volumétrico estacional, se debe prestar atención a promover una adecuada conexión adobe-concreto. Esto se puede lograr mediante llaves de corte (Figura 5.29), o mejor dicho, cajas practicadas en el adobe, o bien mediante fijadores metálicos alojados en ranuras practicadas al adobe

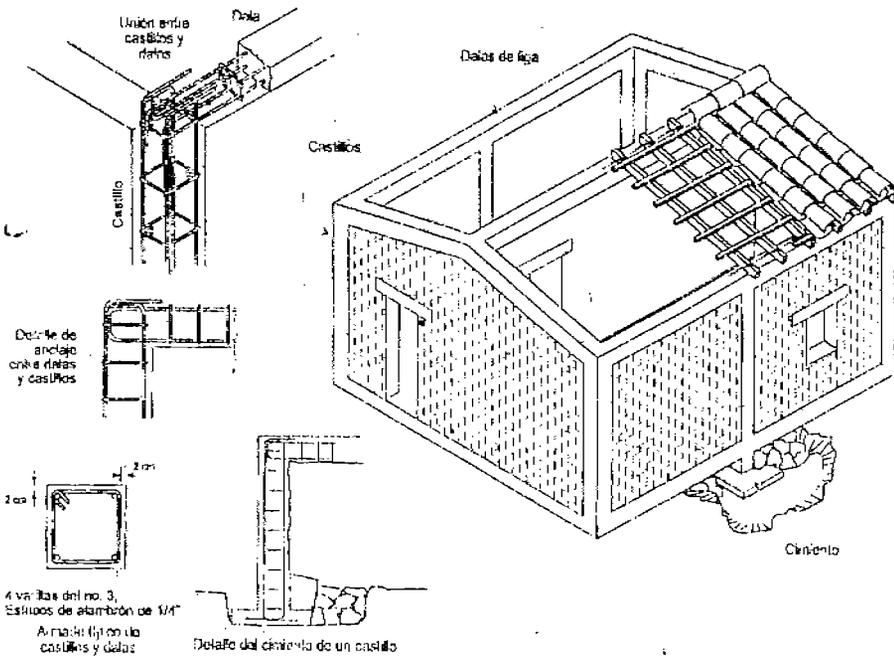


Figura 5.29. ADICIÓN DE CASTILLOS Y DALAS DE CONCRETO.

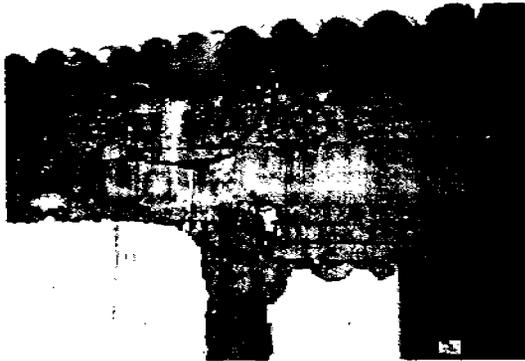


Figura 5.30. CONEXIÓN DEL CONCRETO Y EL ADOBE MEDIANTE CAJAS DE CORTE PRACTICADAS EN EL ADOBE.



## Encamisado de muros

Como se mencionó anteriormente, la adición de recubrimientos reforzados, o encamisado, no es una de las técnicas de rehabilitación más eficientes, sino la mejor (Figura 5.31).

Para su construcción se requiere retirar el techo, de modo de emboquillar el extremo superior del muro con mortero para evitar la penetración de agua entre el mortero y el muro.

Esta técnica consiste en colocar un sistema de refuerzo con malla y mortero. Se recomienda colocar primeramente un aplanado de mortero, después de que este fragüe y seque por tres días, se coloca una malla de gallinero o bien una malla electrosoldada, fijándola con grapas de acero para alambres de púas. Finalmente la malla se cubre nuevamente con un aplanado de mortero. La malla debe anclarse a la cimentación

Se recomienda limpiar la superficie del muro, retirando cualquier tipo de recubrimiento. Antes de colocar el encamisado, se debe humedecer el muro. Para lograr una mejor liga del mortero, se recomienda practicar ranuras en las juntas horizontales y verticales con una profundidad aproximada de 1cm. Posteriormente, se aplica una primera capa de mortero tipo I o II de 1 a 1.5cm de espesor; se coloca la malla -de preferencia por ambos lados del muro-, se sujetan con anclajes de acero, y finalmente se coloca la segunda capa de mortero. El recubrimiento debe tener un espesor total de 2.5 a 3cm.

La malla, como se ha mencionado, puede ser electrosoldada o de gallinero (hexagonal). Para el primer caso, es común usar el menor calibre disponible en el mercado, normalmente calibre 10 (3,43mm de diámetro). Para el segundo, es conveniente usar malla de alambre calibre 20 (diámetro de 0,89mm) con aberturas de 5cm.

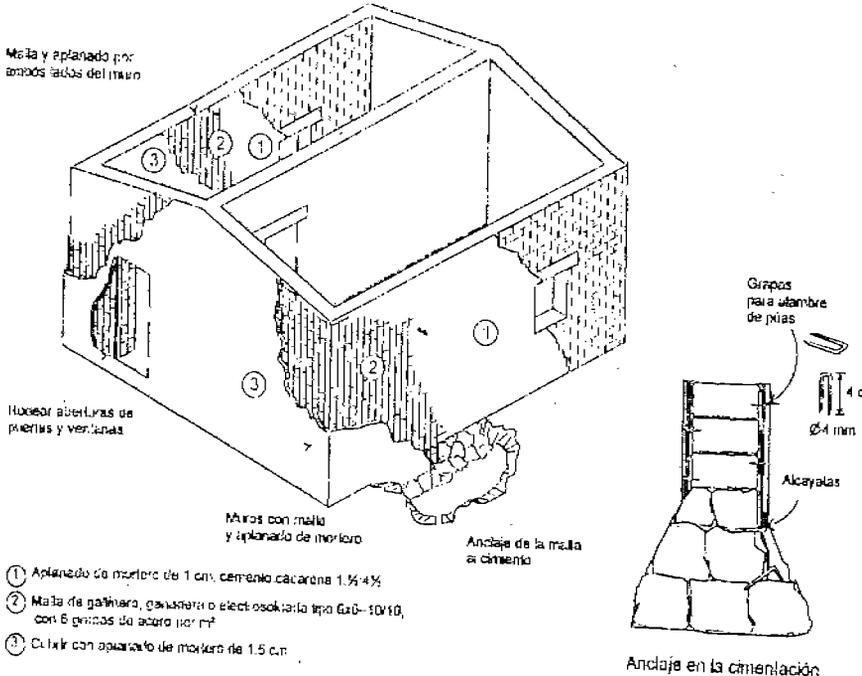


Figura 5.31. ENCAMISADO DE MUROS DE ADOBE CON MALLAS METÁLICAS RECUBIERTAS CON MORTERO.

### Refuerzo con bandas de malla y mortero

Esta es una variable de la técnica malla mortero. Consiste en colocar bandas de malla y mortero en las esquinas y en la parte superior de los muros (Figura 5.32). Con ello se logra una liga entre los muros y se evitan las grietas en las esquinas que pueden causar el derrumbe de la vivienda. El procedimiento de construcción es el mismo que la técnica de malla y mortero

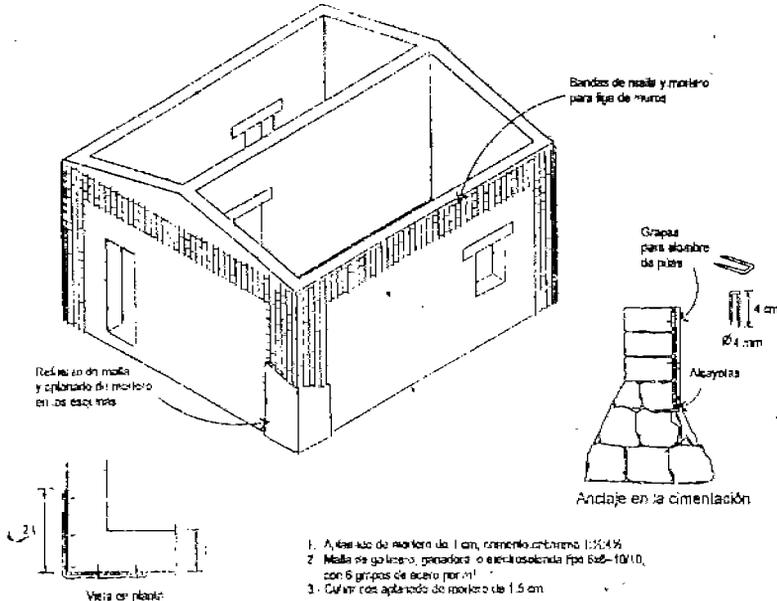


Figura 5.32. REFUERZO CON BANDAS DE MALLAS Y MORTERO.

## Modificaciones de techos

Las tejas de los techos a dos aguas son frágiles y fácilmente se desprenden; además, son pesadas, sobretodo cuando están húmedas. Por tanto, cuando sea posible, deben ser reemplazadas por láminas metálicas o de asbesto corrugadas. En la Figura 5.33 se muestra una vivienda de mampostería adecuadamente confinada y con techo ligero.



Figura 5.33. VIVIENDA DE MAMPOSTERÍA CON TECHO LIGERO.

Con objeto de mantener los muros trabajando juntos y distribuir las fuerzas sísmicas entre ellos, a menudo es conveniente construir una nueva losa rígida, o bien reforzar la existente. Si el sistema de techo es de madera, la losa se puede rigidizar bien con tabloncillos



clavados perpendicularmente a los existentes o mediante un colado de una losa delgada de concreto reforzado sobre la existente. Para este último caso, la malla de acero de la losa de concreto se debe conectar con los muros mediante anclajes (Figura 5.34). La losa debe conectarse a los muros de preferencia a través de cajas practicadas en los muros y reforzadas con acero anclado en la losa (Figura 5.35).

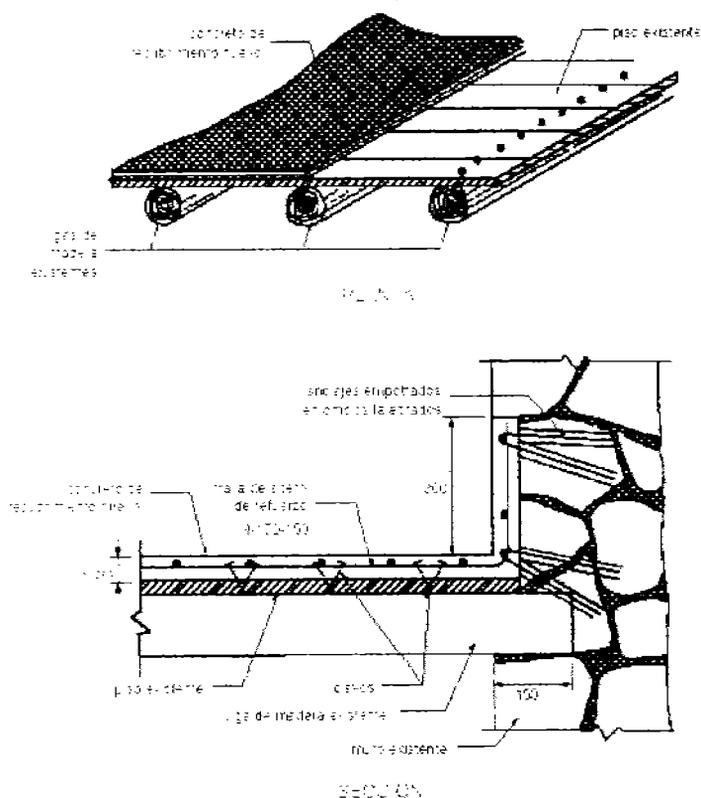


Figura 5.34. INCREMENTO DE LA RIGIDEZ EN EL PLANO DE SISTEMAS DE PISO/TECHO USANDO MADERA O CONCRETO.

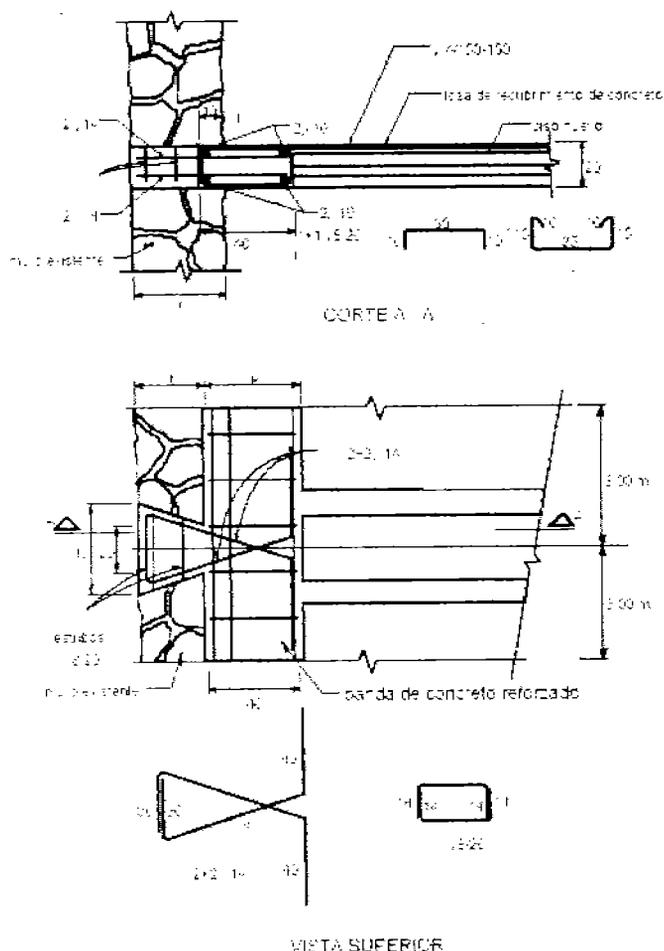


Figura 5.35. CONEXIÓN DEL NUEVO REFUERZO DE LA LOSA A LOS MUROS DE CARGA.

Si la rigidez del sistema de techo no se aumenta, las vigas o armaduras empujarán directamente sobre los muros transversales y provocarán fuerzas importantes que pueden llevar al muro a voltearse. En techos inclinados, es conveniente instalar tendones que controlen el coceo de las armaduras sobre los muros.

Los modos de falla fuera de plano de los muros se pueden evitar si se conectan los muros entre sí con anclas metálicas. Se recomienda prestar atención al refuerzo de las esquinas de los muros, ya sea mediante refuerzos locales de concreto armado o bien usando anclas o tensores verticales, de modo de mejorar la capacidad de disipación de energía de esta zona.



---

## Construcción de muros nuevos

Cuando las edificaciones muestran asimetrías que puedan causar efectos torsionales durante los sismos, se pueden construir nuevos muros, de mampostería o concreto, que corrijan dichos efectos. Los muros pueden ser interiores o exteriores, formando en este caso contrafuertes. El aspecto más delicado es su conexión con los muros existentes, la cual se ha resuelto con cajas practicadas en los muros existentes, las cuales son reforzadas con barras de acero ancladas adecuadamente en los muros existentes, y relleno con concreto.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

Al observar las construcciones y métodos de construcción en distintas zonas del país, se puede apreciar cierta uniformidad, como que la mayoría de los sistemas de mampostería observadas son no reforzadas con deficiencias substanciales en su concepción o bien con errores constructivos de importancia. El paso entre lo eficiente y lo bueno es pequeño, simplemente se requiere orientar el diseño y construcción de estructuras de mampostería hacia sistemas confinados y con refuerzo horizontal, empleando piezas de buena calidad.

Es indudable que el rezago de viviendas en el país se incrementará si no se emprenden programas de crédito y fomento por parte de las autoridades, con apoyo a los desarrollos tecnológicos que aporta la ingeniería.

Por mi parte estoy convencido de que la autoconstrucción es una alternativa que puede contribuir en forma importante a la solución del problema de el rezago de vivienda, ya que permite abaratar el costo de las viviendas al no requerir mano de obra calificada, y ponerse al alcance de los estratos de la población más desfavorables económicamente.

Es necesario que el gobierno, así como las universidades den mayor impulso a la difusión de herramientas para la autoconstrucción de este tipo de viviendas, brindando asesorías y supervisión sobre todo en aquellas zonas en donde el tipo de suelo pone en riesgo las condiciones de seguridad con que debe cumplir toda vivienda.

La generación de reglamentos de construcciones completos, es decir que incluyan Normas Técnicas Complementarias (estatal y municipal), resulta actualmente difícil de establecer en nuestro medio, dadas las condiciones reales de muchos de los municipios en nuestro país. Sin embargo sería conveniente, y posible, que los reglamentos municipales fueran muy sencillos y que hicieran referencia a manuales de diseño requeridas para cada tipo de estructura y dejando los procedimientos a las Normas Técnicas Complementarias modelo de cada estado o municipio. Con esto hacemos un llamado a considerar regionalmente las verdaderas solicitudes a las que las construcciones se verán sujetas.

Durante la realización de este proyecto me he percatado de que efectivamente la ingeniería civil puede contribuir a solucionar en gran medida el problema de la vivienda, desarrollando sistemas constructivos que mediante la aplicación de la tecnología permita abaratar el costo de las viviendas y ponerlas al alcance de la población que considere a la autoconstrucción como un medio para obtener su propia vivienda.

Por lo que se refiere a sistemas de mampostería hoy se tienen las bases para poder diseñar y construir estructuras de muy buena calidad que tengan un excelente desempeño, principalmente ante solicitudes sísmica; esto se logra por medio de elementos de confinamiento, dadas y castillos, y del refuerzo horizontal. Se ha demostrado que el refuerzo horizontal es el elemento fundamental en cuanto a la resistencia, capacidad de deformación, patrones de agrietamiento, etc., lo que en conjunto con el confinamiento y piezas de buena



calidad conducen a sistemas de mampostería de buena eficiencia. Paralelamente hay que mencionar que la diferencia en el costo de la estructura entre la mampostería confinada con refuerzo horizontal y la mampostería simple es marginal, entre 3 a 6%, pero con una diferencia sustancial en su desempeño estructural, así como en la presencia del agrietamiento bajo condiciones de servicio. Por otra parte la calidad de las piezas y el refuerzo horizontal son factores muy importantes para lograr resistencias adecuadas con excelentes capacidades de deformación.

Para la revisión de estructuras de mampostería es muy importante que se seleccionen adecuadamente el método de análisis cumpliendo con la hipótesis de cada uno y teniendo en cuenta sus limitaciones. Adicionalmente es muy importante hacer una calibración con otras soluciones ya establecidas. Los nuevos sistemas de análisis ligados a programas de dibujo dan la oportunidad de hacer modelos más refinados, los que tendrán que ir acompañados de procesos de revisiones globales, tales como los que proporciona el método simplificado de diseño.

Por último podemos decir a los interesados en el diseño, que el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias de Mampostería, pueden considerarse excelentes pero hace falta su correcta ejecución en todas y cada una de las obras que se llevan a cabo para el Distrito Federal. Aunado a ello, de contar con reglamentos y normas para todo el país, de acuerdo con las diferentes características de cada región y no solo para el Distrito Federal. De igual manera podemos decir que los mejores estudios disponibles son aquellos que la Comisión Federal de Electricidad plasma en sus Manuales de Diseño de Obras Civiles realizado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (CFE, 1993).

## RECOMENDACIONES

Un aspecto de vital importancia es el mantenimiento con fines preventivos que se haga en las estructuras de mampostería de las viviendas. Congruente con las recomendaciones propuestas en la mayoría de los textos y publicaciones referentes a las estructuras de mampostería en general, el colocar un repellado de mortero en ambas caras de los muros, principalmente en la exterior, incrementa considerablemente la vida útil en condiciones óptimas de comportamiento del muro; además, es necesaria la revisión periódica, cada seis meses, de condición y estado de este repellado. En caso de observar desprendimiento del mismo o degradación de alguno de los componentes de la estructura (muro), tabiques o bloques, se recomienda desprenderlo y reponerlo tratando de lograr las características originales.



## BIBLIOGRAFÍA

- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (edición 2004)
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (edición 2004)
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (edición 2004)
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (edición 2004)
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (edición 2004)
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento (edición 2004)
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2001), "Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismorresistente de vivienda de mampostería", Bogotá, Colombia. 173pp
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (2001), "Diagnostico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México", CENAPRED, Secretaría de gobernación, México.
- Comisión Federal de Electricidad (1993), "Manual de Diseño de Obras Civiles" – Diseño por Viento-, Instituto de Investigaciones Eléctricas
- Comisión Federal de Electricidad (1993), "Manual de Diseño de Obras Civiles" – Diseño por Sismo-, Instituto de Investigaciones Eléctricas
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (1990) "Características de las Viviendas" –XI Censo General de Población y Vivienda, INEGI, México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (1998) "Características de las Viviendas" –XI Censo General de Población y Vivienda, INEGI, México.
- Flores C. L., Pacheco M. A. y Reyes S. C. (2001), "Algunos estudios sobre el comportamiento y rehabilitación de la vivienda rural de adobe". Informe interno, CENAPRED, México
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Compendio Estadístico-Gráfico de Vivienda. 1998-1999
- Meli Roberto (2000), "Diseño Estructural", Editorial Limusa, México



- Oscar A. López Bátiz, Héctor M. Toledo Sánchez “Estudio de la Seguridad de las Edificaciones de Vivienda Ante la Incidencia del Viento”, Dirección de Investigación, CENAPRED, Secretaría de gobernación, México.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (1999), “Curso Sobre Diseño y Construcción Sismorresistente de Estructuras”, CENAPRED, Secretaría de gobernación, México.
- E. Bazán y R. Meli, “Manual de Diseño Sísmico de Edificios de Acuerdo con el Reglamento de Construcciones del D. F.”, México D. F., 1985
- Hernández. O., “Comportamiento y Diseño de Elementos de Mampostería”, XIV Curso Internacional de Ingeniería Sísmica. División de educación continua, UNAM, 1988
- Meli Roberto (2000), “Diseño Sísmico de Edificios de Muros de Mampostería. La Practica Actual y el Comportamiento Observado”, Revista Ingeniería Sísmica, México D. F., 1990
- Alcocer, S. M., “Comportamiento Sísmico de Estructuras de Mampostería: Una Revisión”, XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, México 1997
- Mendoza, C. J. “Manual para Evaluar Daños causados por Sismos en Estructuras de Mampostería”. Departamento del Distrito Federal, México 1982
- <http://construaprende.com/Tablas/CFE/Mapa31.html>
- <http://www.proyectoyobra.com/articulos.asp?ID=27&Pagina>