

Reparación de estructuras de concreto y mampostería

Versión preliminar

Jesús Iglesias J.
Francisco Robles F. V.
José de la Cera A.
Oscar M. González C.

DIVISION DE CIENCIAS BASICAS E INGENIERIA

Departamento de Materiales

México, 1985

CONTENIDO



	pág.
1. ALCANCE	7
2. IDENTIFICACION Y EVALUACION PRELIMINAR DE DAÑOS	11
2.1 Objetivos	11
2.2 Inspección preliminar	12
2.3 Daños estructurales	14
2.4 Daños no estructurales	19
2.5 Clasificación y evaluación preliminar de los daños	19
3. REHABILITACION TEMPORAL	23
3.1 Objetivos	23
3.2 Acciones	24
3.3 Apuntalamiento vertical	25
3.4 Soporte lateral	33
3.5 Métodos de acuñar	41
4. EVALUACION DEFINITIVA Y REPARACION	45
4.1 Objetivos	45
4.2 Inspección detallada	46
4.3 Información complementaria	46
4.4 Verificación de la información	47
4.5 Evaluación de la estructura	51
4.6. Proyecto de reparación	55

5.	MATERIALES DE REPARACION	57
5.1	Consideraciones generales	57
5.2	Resinas	57
5.3	Lechadas y morteros	58
5.4	Concretos	59
5.5	Soldadura y anclajes mecánicos	61
6.	REESTRUCTURACION	63
6.1	Consideraciones generales	63
6.2	Muros de rigidez	64
6.3	Muros de relleno	67
6.4	Marcos, armaduras y contraventeo	70
6.5	Contrafuertes	73
6.6	Muros de mampostería	74
7.	RESTAURACION Y REFUERZO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	75
7.1	Consideraciones generales	75
7.2	Restauración	76
7.3	Refuerzo de columnas	83
7.4	Refuerzo de vigas	88
7.5	Refuerzo de uniones viga-columna	90
7.6	Refuerzo de muros de concreto	93
7.7	Refuerzo de muros de mampostería	95
8.	RESTAURACION Y REFUERZO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	101
8.1	Consideraciones generales	101

8.2 Muros divisorios	102
8.3 Recubrimientos	104
8.4 Ventanas	105
8.5 Plafones	105
9. SUPERVISION Y VERIFICACION DE LA REPARACION	107
9.1 Objetivos	107
9.2 Supervisión del proyecto	107
9.3 Supervisión de la construcción	107
9.4 Verificación de la reparación	108
REFERENCIAS	111
RECONOCIMIENTO	121
APENDICE A	123

1. ALCANCE

El presente documento forma parte de la contribución de la UAM a la reconstrucción de los daños causados por el sismo del 19 de Septiembre de 1985, que dejó un saldo de varios miles de estructuras dañadas en la Ciudad de México, principalmente en edificaciones de concreto y mampostería. El propósito que motivó este trabajo, fue la preparación de una guía que ayude a normar el criterio de los profesionistas que tengan que enfrentarse con el problema de la evaluación de los daños de una estructura y con el del proyecto y la ejecución de su reparación.

Debido a la premura propia de la labor de reconstrucción se decidió integrar este escrito en el menor tiempo posible, aún a costa de cometer omisiones en algunos temas; por el mismo motivo se limitó el alcance a estructuras de concreto y mampostería y no se trata la reparación de cimentaciones ni de estructuras de acero.

El trabajo se efectuó con base en una revisión bibliográfica bastante extensa, que abarca no solamente numerosas publicaciones extranjeras, sino también una valiosa serie de documentos de investigadores nacionales que reflejan las experiencias de sismos anteriores. Figuran entre éstos las refs. 2, 6, 7, 10, 49 y 92. Lo anterior se complementa con una investigación en el mercado nacional sobre los materiales

de reparación más comunes. El resultado es una descripción general del proceso de evaluación de estructuras dañadas y de las diversas técnicas para su reparación, adaptadas a nuestra práctica profesional a través de la experiencia personal de los autores. Para los aspectos de detalle se remite al lector a la bibliografía, de la que se tienen juegos completos disponibles para su consulta en el Departamento de Materiales de la UAM Azcapotzalco, así como en la biblioteca de las tres unidades de la misma Universidad:

Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 180,
México 02200, D.F.

Unidad Iztapalapa, Av. Michoacán y La Purísima,
México 09340, D.F.

Unidad Xochimilco, Calz. del Hueso No. 1100,
México 04960, D.F.

En el capítulo 2 se proponen los lineamientos que debe seguir la inspección de una estructura dañada para poder formular una evaluación preliminar, de la cual podrá desprenderse la necesidad de una demolición inmediata, o bien la posibilidad de reparación. En este último caso será necesario proceder a la rehabilitación temporal en la forma descrita en el capítulo 3, con el fin de detener el deterioro de la estructura y protegerla contra otros sismos, en tanto se define si procede la reparación y se determinan las características convenientes de ésta.

El capítulo 4 describe el proceso de la evaluación definitiva de la estructura dañada y el estudio de las alterna

tivas para su reparación, las cuales podrán ser formuladas con base en las técnicas descritas en los capítulos 5, 6, 7 y 8, que cubren la descripción de los materiales de reparación disponibles en el mercado, así como los procedimientos de restauración y refuerzo de la estructura y sus componentes.

Finalmente el capítulo 9 incluye algunas recomendaciones para controlar la calidad de la reparación, tanto en el nivel de proyecto como en el de ejecución.

Por las circunstancias que originaron este trabajo, frecuentemente se hace referencia a las normas de emergencia expedidas el 18 de octubre de 1985 (ref. 28), sin embargo, los conceptos expuestos podrán utilizarse en cualquier otra ocasión, adaptando su manejo a las normas vigentes.

2. IDENTIFICACION Y EVALUACION PRELIMINAR DE DAÑOS

2.1 Objetivos

El primer paso para plantear la posible reparación de una estructura es el reconocimiento de los daños existentes en ella. La información que con esto se pueda reunir servirá para el desarrollo de las siguientes actividades:

- a) Evaluación preliminar de la estructura, que permita definir si se requiere su demolición inmediata o si procede considerar su reparación.
- b) Determinación de la estrategia y los detalles de la rehabilitación temporal.

Así, en esta primera etapa del proceso de reparación, se deberá definir si se justifica intentar ésta o si por el peligro de un derrumbe inmediato que pueda afectar las construcciones o vías de circulación vecinas es necesaria la demolición. En casos dudosos, y cuando las consecuencias de un posible derrumbe no sean peligrosas, puede convenir retrasar la decisión de demoler hasta contar con información más completa que la que resulta de la evaluación preliminar.

Si se decide no demoler, tendrá que procederse inmediatamente a tomar las medidas de apuntalamiento necesarias que garanticen adecuadamente la seguridad temporal de la estructura.

La evaluación preliminar de esta primera etapa deberá complementarse posteriormente con una revisión más detallada que servirá de base para la realización del proyecto de reparación definitiva.

2.2 Inspección preliminar

La inspección preliminar consiste en una revisión ocular de toda la estructura para lograr la identificación de los daños existentes, así como para poder comprender el sistema estructural y su comportamiento ante el sismo. Esta actividad deberá ser coordinada por un especialista en estructuras.

Durante la inspección deberán tomarse las medidas de seguridad elementales, procurando evitar las zonas de colapso inminente. El uso de casco es obligado.

Para una correcta evaluación de los daños y sus causas es necesario identificar el sistema estructural utilizado en el edificio en estudio. Deberá por lo tanto investigarse cual fue el sistema empleado: marcos rígidos con o sin contravientos, con sistemas de piso de vigas y losas o de losas planas sin vigas, macizas o aligeradas; muros de concreto reforzado; muros de mampostería con o sin contravientos; elementos precolados; o alguna combinación de los sistemas anteriores. También es importante tomar nota del sistema de cimentación empleado: zapatas aisladas o corridas; sistemas reticulares total o parcialmente compensados; pilotes de fricción o de apoyo

directo, o alguna combinación de estos sistemas.

Para localizar los daños y cuantificarlos, durante la inspección será necesario revisar los desplomes y efectuar mediciones sobre los elementos más dañados, lo que puede implicar retirar parte de los acabados. La realización de estas operaciones de inspección requiere el siguiente equipo: cinta métrica, plomada o nivel, martillo y cincel o desarmador, linterna, grietómetro para medir el ancho de grietas (fig. 2.1), cámara fotográfica y binoculares (tabla 2.1).

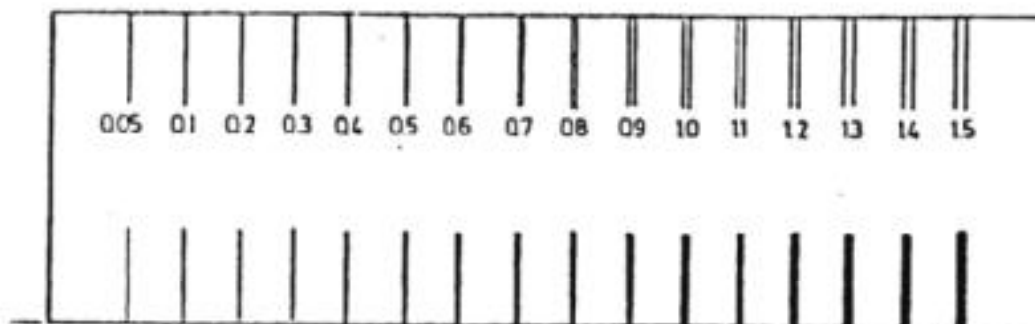


Fig. 2.1 Grietómetro para medir anchos de grietas (ref. 11)

Para sistematizar el acopio de la información, es indispensable el uso de formas prediseñadas para tal efecto semejantes a las de las refs. 3, 6, 7, 8 y 33. Estas formas deben incluir los siguientes conceptos:

- a) Identificación del edificio-

- b) Identificación del sistema estructural
- c) Identificación de daños en elementos estructurales
- d) Identificación de daños en elementos no estructurales
- e) Identificación de problemas de estructuración
- f) Identificación de problemas en la cimentación
- g) Estimación de la posible causa de los daños

En la tabla 2.1 se presenta un resumen del equipo mínimo con que se debe contar para la realización de la inspección preliminar.

TABLA 2.1 EQUIPO MINIMO REQUERIDO PARA LA INSPECCION PRELIMINAR (ref. 6)

- Casco
- Tabla de apoyo y formas de inspección
- Cinta métrica
- Plomada o nivel
- Martillo y cincel o desarmador
- Linterna
- Grietómetro (fig. 2.1)
- Cámara fotográfica
- Binoculares

2.3 Daños estructurales

En la tabla 2.2 se resumen los daños estructurales

más comunes sobre los que se deberá hacer énfasis durante la inspección. Los daños se han clasificado por tipo de elemento estructural, indicándose también la causa principal de los mismos.

TABLA 2.2 DAÑOS ESTRUCTURALES MAS COMUNES
(refs. 2, 6 y 7)

Elemento Estructural	Tipo de Daño	Causa
Columnas (fig. 2.2)	Grietas diagonales Grietas verticales Desprendimiento del recubrimiento Aplastamiento del concreto y pandeo de barras	Cortante o torsión Flexocompresión Flexocompresión Flexocompresión
Vigas (fig 2.3)	Grietas diagonales Rotura de estribos Grietas verticales Rotura del refuerzo Aplastamiento del concreto	Cortante o torsión Cortante o torsión Flexión Flexión Flexión
unión viga-columna (fig. 2.3)	Grietas diagonales Falla por adherencia del refuerzo de vigas	Cortante Flexión
Sistemas de piso (fig. 2.4)	Grietas alrededor de columnas en losas o placas planas Grietas longitudinales	Penetración Flexión
Muros de concreto (fig. 2.5)	Grietas diagonales Grietas horizontales Aplastamiento del concreto y pandeo de barras	Cortante Flexocompresión Flexocompresión
Muros de mampostería (fig. 2.6)	Grietas diagonales Grietas verticales en las esquinas y centro Grietas como placa perimetralmente apoyada	Cortante Flexión y volteo Flexión

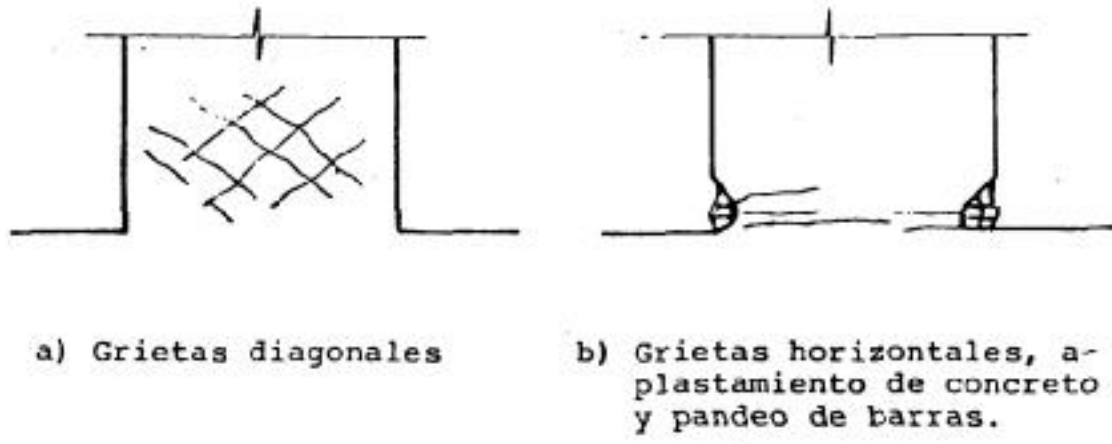


Fig. 2.5 Daños en muros de concreto

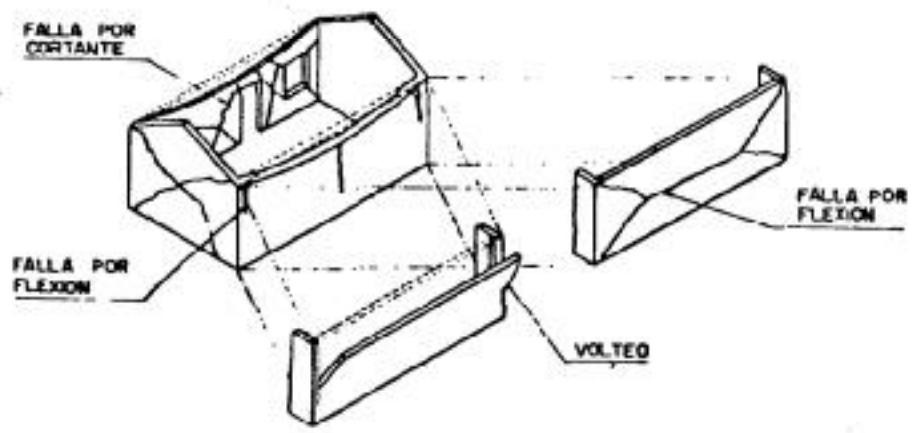


Fig. 2.6 Daños en muros de mampostería (ref. 2)

2.4 Daños no estructurales

Generalmente los daños a elementos no estructurales se deben a la unión inadecuada de estos elementos con la estructura, o a una falta de rigidez de la misma.

Los daños más comunes son (ref. 6):

- a) Aplastamiento de las uniones entre la estructura y los elementos divisorios
- b) Agrietamiento de los elementos divisorios de mampostería
- c) Rotura de vidrios
- d) Desprendimiento de aplanados, recubrimientos y elementos de fachada
- e) Desprendimiento de plafones
- f) Rotura de tuberías e instalaciones diversas

2.5 Clasificación y evaluación preliminar de los daños

En la tabla 2.3 se presentan algunos criterios recomendables para la clasificación y la evaluación preliminar de los daños de una estructura. Se sugieren también las medidas convenientes según los resultados de la evaluación.

La inspección preliminar debe efectuarse de acuerdo con los criterios de la tabla 2.3.

Al llevar a cabo la evaluación preliminar, deben interpretarse los criterios expuestos con cierta flexibilidad, con base en la experiencia y el buen juicio de la persona que la realiza. Es evidente que no es lo mismo observar grietas de determinado ancho en algunos elementos aislados, que encontrar el mismo daño generalizado.

En las medidas recomendadas se distingue entre la simple restauración entendida como la recuperación de la resistencia original, y el refuerzo que consiste en incrementar la resistencia de los elementos o de la estructura.

TABLA 2.3 CLASIFICACION Y EVALUACION PRELIMINAR DE DAÑOS
(refs. 6, 7 y 8)

Tipo de Daño	Descripción	Evaluación Preliminar
No estructural	Daños únicamente en elementos no estructurales.	No existe reducción en la capacidad sísmo-resistente. No se requiere desocupar. La reparación consistirá en la restauración de los elementos estructurales.
Estructural ligero	Grietas de menos de 0.5 mm de ancho en elementos de concreto. Fisuras y caída de aplanados en paredes y techo. Grietas de menos de 3 mm de ancho en muros de mampostería.	No existe reducción en la capacidad sísmo-resistente. No se requiere desocupar. La reparación consistirá en la restauración de los elementos dañados.
Estructural fuerte	Grietas de 0.5 a 1 mm de ancho en elementos de concreto. Grietas de 3 a 10 mm de ancho en muros de mampostería.	Existe una reducción importante en la capacidad sísmo-resistente. Debe desocuparse y mantenerse sólo acceso controlado, previa rehabilitación temporal. Es necesario realizar un proyecto de reparación para la restauración y el refuerzo de la estructura.

Tipo de Daño	Descripción	Evaluación Preliminar
Estructural grave	<p>Grietas de más de 1 mm de ancho en elementos de concreto.</p> <p>Desprendimiento del recubrimiento en columnas.</p> <p>Aplastamiento del concreto, rotura de estribos y pandeo del refuerzo en columnas y muros de concreto.</p> <p>Agrietamiento de losas planas alrededor de las columnas.</p> <p>Aberturas en muros de mampostería.</p> <p>Desplomes en columnas de más de 1:100 de su altura.</p> <p>Desplome del edificio de más de 1:100 de su altura.</p>	<p>Existe una reducción importante en la capacidad sísmo-resistente.</p> <p>Debe desocuparse y suprimirse el acceso y la circulación en la vecindad.</p> <p>Es necesario proteger la calle y los edificios vecinos mediante la rehabilitación temporal, o proceder a la demolición urgente.</p> <p>De ser posible deberá recurrirse a una evaluación definitiva que permita decidir si procede la demolición o bien el refuerzo generalizado de la estructura.</p>

3. REHABILITACION TEMPORAL

3.1 Objetivos

Si como resultado de la evaluación preliminar de daños se concluye que no es necesaria la demolición inmediata de la estructura, deberán definirse las medidas de emergencia apropiadas para garantizar protección temporal mientras se lleva a cabo el estudio de la rehabilitación definitiva.

Estas medidas tienen por objeto aliviar la carga vertical sobre los componentes estructurales dañados y proteger la estructura contra las acciones laterales debidas a posibles réplicas del sismo, disponiendo elementos de apoyo y de contraventeo provisionales.

El propósito de la rehabilitación temporal es proporcionar resistencia provisional a aquellos elementos y conexiones de los cuales depende la seguridad del sistema estructural total. Además, la protección temporal deberá incluir medidas que garanticen la seguridad de las personas en las zonas adyacentes al edificio dañado y de los trabajadores que realicen las labores de rehabilitación.

El diseño de los sistemas de protección temporal debe efectuarse con premura, por lo que no se suele disponer de suficiente tiempo para aplicar los métodos convencionales de dimensionamiento. Así, deberá recurrirse a métodos aproxima-

mados de análisis para determinar las magnitudes de las cargas y de sus efectos. Debido a la urgencia de las medidas a tomar, el ingenio, la intuición y la experiencia deberán suplir la falta de un análisis detallado.

En las secciones siguientes se hacen consideraciones sobre las fuerzas o acciones que deben tomarse en cuenta en el diseño de los sistemas de protección temporal, se describen algunos elementos auxiliares útiles y se sugieren diversos procedimientos de apuntalamiento vertical y de contraventeo.

3.2 Acciones

En el artículo 18° del decreto por el que se establecen las normas de emergencia en materia de construcción para el Distrito Federal (ref. 28), se estipula que "mientras se lleven a cabo obras de refuerzo y reparación los edificios dañados deben estar apuntalados de manera que garanticen la estabilidad de la estructura para las cargas verticales estimadas y 25 por ciento de las laterales estimadas que se obtendrían aplicando las presentes normas con las cargas vivas previstas durante la ejecución de las obras".

Podrá prescindirse de los soportes o apuntalamientos laterales en aquellos casos en que los daños a reparar sean locales y se considere evidente que la estabilidad general de la estructura es adecuada.

3.3 Apuntalamiento vertical

3.3.1 Consideraciones generales

El proporcionar apoyo vertical auxiliar a las columnas y muros de carga seriamente dañados es la primera medida a tomar al instalar un sistema de protección temporal.

Evidentemente se requiere apoyo vertical en el piso correspondiente al elemento dañado. En algunas situaciones es posible limitar el apuntalamiento a un solo piso como se muestra en la fig. 3.1. En tales casos debe revisarse la resistencia a cortante en las secciones t-t de la fig. 3.1 para garantizar que el apuntalamiento vertical sea efectivo.

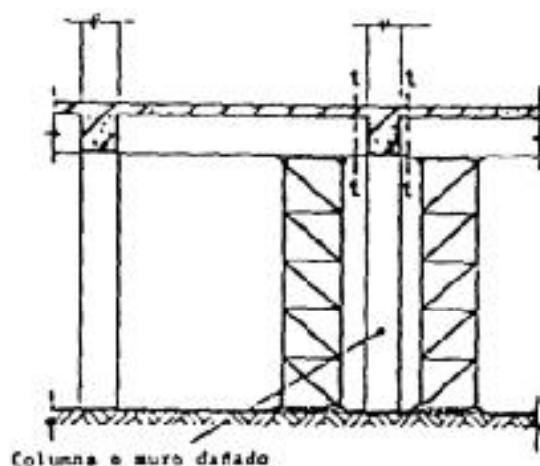


Fig. 3.1 Apuntalamiento vertical en un piso
(ref. 1)

Una alternativa más confiable consiste en proporcionar soporte provisional a todos los niveles además del correspondiente al elemento dañado, como se ilustra en la fig. 3.2.

De esta manera se reducen considerablemente las fuerzas cortantes en las secciones t-t a ambos lados del elemento vertical dañado (ref. 1). Cuando los elementos de soporte provisional se apoyan sobre losas debe cuidarse que no se presenten problemas de penetración. Para evitar esto, los elementos de soporte deben apoyarse sobre piezas horizontales, que pueden ser tablones o vigas de madera acostados, que distribuyan la carga. Estas piezas pueden combinarse con placas de acero para casos de cargas grandes o sistemas de piso débiles. Debe procurarse que los puntales sean colineales en todos los niveles. Generalmente será necesario transmitir cargas hasta la cimentación e incluso puede requerirse la construcción de un cimiento provisional para llevarlas hasta el suelo.

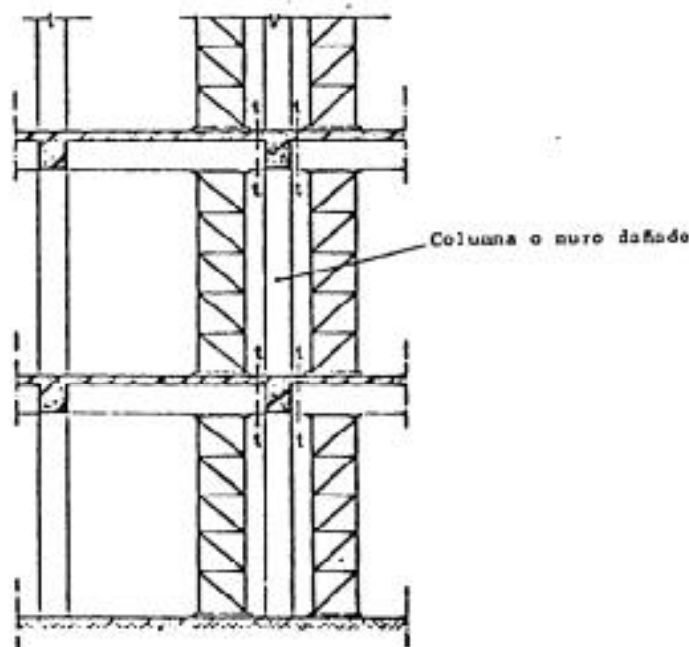


Fig. 3.2 Apuntalamiento en varios pisos (ref. 1)

La distancia entre los elementos de apoyo provisionales y el elemento dañado debe ser la mínima posible, aunque dejando espacio suficiente para los trabajos de reparación (ref. 1).

3.3.2 Soportes de madera

La madera es quizá el material para apuntalamiento vertical más fácil de conseguir, puesto que es el generalmente utilizado en las obras falsas y cimbras requeridas para la construcción de estructuras de concreto. Las secciones más comunes son el polín de 4 x 4 pulg, la viga de 4 x 8 pulg, el tablón de 2 pulg de grosor y las tablas o duelas de 3/4 pulg a 1 1/2 pulg (refs. 12 y 32). Estas medidas son nominales; las medidas reales suelen ser algo menores. Los tablonés y tablas se consiguen en varios anchos. Pueden también aprovecharse los postes comunmente utilizados en líneas de transmisión de energía eléctrica. La madera generalmente asequible es pino. En el apéndice A se proporcionan valores de esfuerzos permisibles conservadores para madera de pino y se sugieren métodos simplificados para dimensionar elementos de madera sujetos esencialmente a cargas axiales de compresión, que son las predominantes en elementos de soporte verticales.

Las secciones o escuadrías mencionadas pueden combinarse de diversas formas para soportar cargas de alguna importancia.

Con cargas ligeras pueden utilizarse polines o vi-

gas sin arriostrar. Para repartir la carga y evitar los problemas de penetración mencionados anteriormente es necesario colocar en los apoyos tablonos o vigas acostados. En uno de los extremos deberán colocarse cuñas en la forma indicada en el inciso 3.5 (fig. 3.3a).

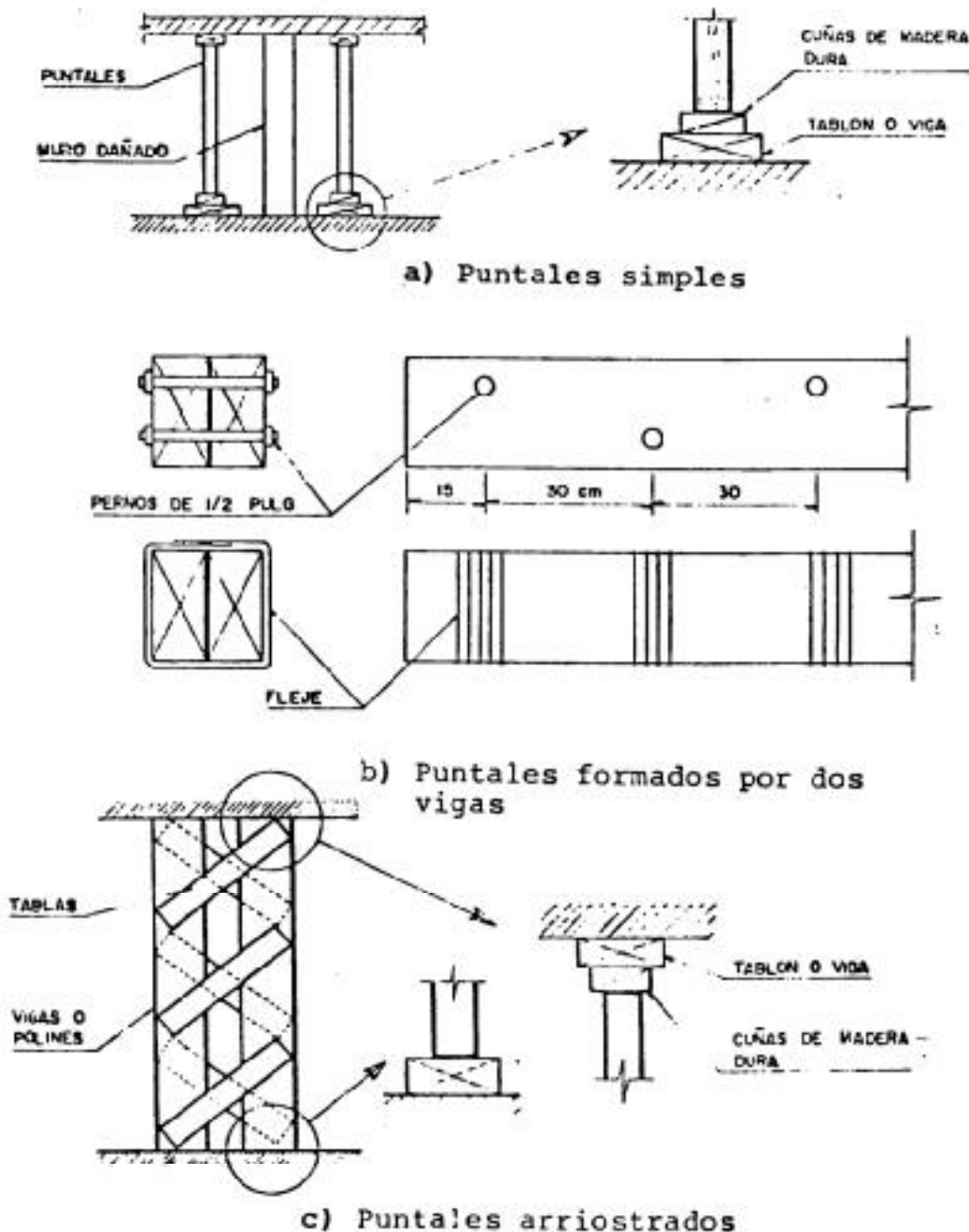


Fig. 3.3 Apuntalamiento vertical con piezas de madera

Pueden formarse elementos compuestos compactos uniendo dos vigas por medio de clavos, pernos o flejes como se indica en la fig. 3.3b.

La eficiencia de los miembros aislados puede incrementarse por medio de arriostramientos triangulares que disminuyan las longitudes efectivas de pandeo como se muestra en la fig. 3.3c. El arriostramiento puede hacerse únicamente en el sentido desfavorable en caso de secciones rectangulares como las vigas. En caso de secciones cuadradas como los polines, el arriostramiento deberá hacerse en ambos sentidos para que sea efectivo. Las piezas para arriostrar deben tener un grosor mínimo de una pulgada y un ancho mínimo de 10 cm. Deben clavarse con clavos de 2½ pulg. El número de clavos en cada unión debe ser el máximo posible en el espacio disponible, sin que se excedan los espaciamientos que establecen las normas (ref. 103). Los detalles de apoyo deben ser semejantes a los mencionados para miembros simples aislados.

Cuando las porciones de muros entre aberturas se han agrietado de manera que su capacidad de carga y su estabilidad lateral son dudosas, puede recurrirse a refuerzos con piezas de madera como los mostrados en la fig. 3.4. Una solución semejante es apropiada cuando se han presentado daños en los dinteles y muros sobre aberturas (ref. 1).

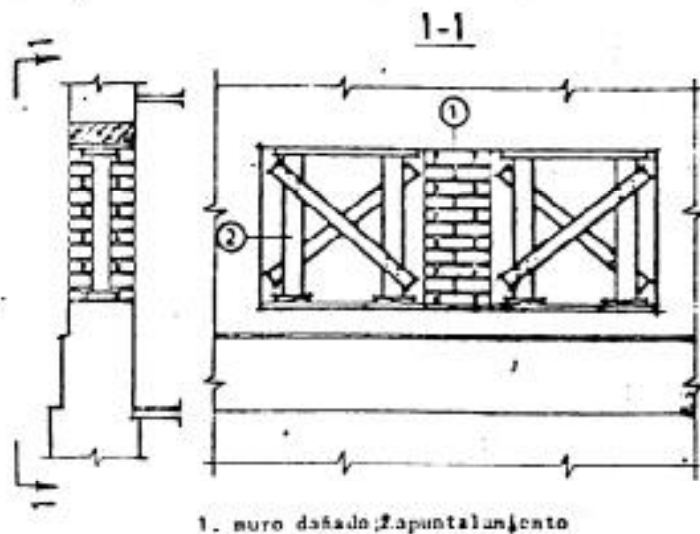


Fig. 3.4 Apuntalamiento de aberturas
(ref. 1)

3.3.3 Perfiles de acero,

Cuando las cargas que deben soportarse son grandes debe recurrirse al empleo de perfiles simples de acero o a combinaciones de ellos para formar diferentes tipos de secciones compuestas. Tanto los perfiles simples como las secciones compuestas deben estar provistos de placas de apoyo. Deben acunarse debidamente, en forma semejante a la utilizada para los elementos de soporte de madera. El dimensionamiento se lleva a cabo por los procedimientos usuales (ref. 104). Una alternativa interesante consiste en un refuerzo formado por ángulos colocados en las esquinas de la columna dañada y unidos por placas de metal como se muestra en la fig. 3.5. Este tipo de soporte puede aprovecharse para el refuerzo definitivo de la columna como se describe en el inciso 7.3.2. En los extremos de los ángulos deben colocarse placas de acero con el fin de garantizar un apoyo adecuado. Los huecos entre los ángulos y la superfi-

ficie de la columna por reforzar deben rellenarse con un mortero con aditivos expansores.

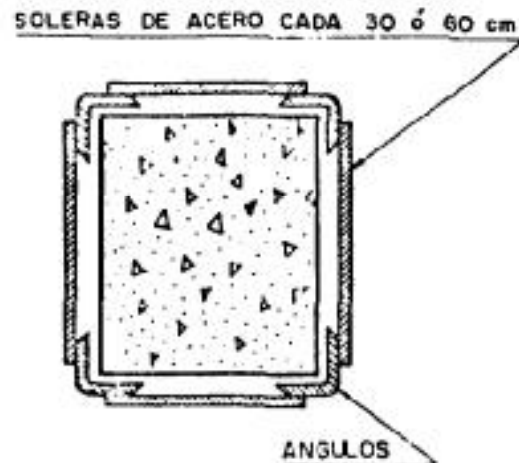


Fig. 3.5 Apuntalamiento con ángulos y soleras de acero

3.3.4 Puntales telescópicos y elementos tubulares diversos

Existen diversos elementos estándar producidos industrialmente para ser usados en cimbras y obras falsas para la construcción de estructuras de concreto que pueden aprovecharse para apuntalar (ref. 43).

Para cargas muy ligeras pueden utilizarse soportes telescópicos independientes como el mostrado en la fig. 3.6a. La capacidad de estos elementos es del orden de dos toneladas y su altura máxima es de aproximadamente tres metros. La altura puede ajustarse por medio de un dispositivo a base de rosca. Están provistos de placas de apoyo en los extremos, pero en caso de que los esfuerzos de penetración sean excesivos,

deberán disponerse tablonos o vigas adicionales en ambos extremos para lograr una mejor repartición de la carga.

Para soportar sistemas de piso o techos ligeros que hayan sufrido daños, puede recurrirse a combinaciones de elementos tubulares como en el caso ilustrado en la fig. 3.6b. La altura de estos elementos puede ajustarse por medio de dispositivos de rosca como el de la fig. 3.6c. Al igual que en el caso de los soportes telescópicos independientes deben cuidarse los detalles de apoyo en ambos extremos.

Los datos sobre capacidad útil de los elementos estándar descritos deben obtenerse de los fabricantes (ref. 43).

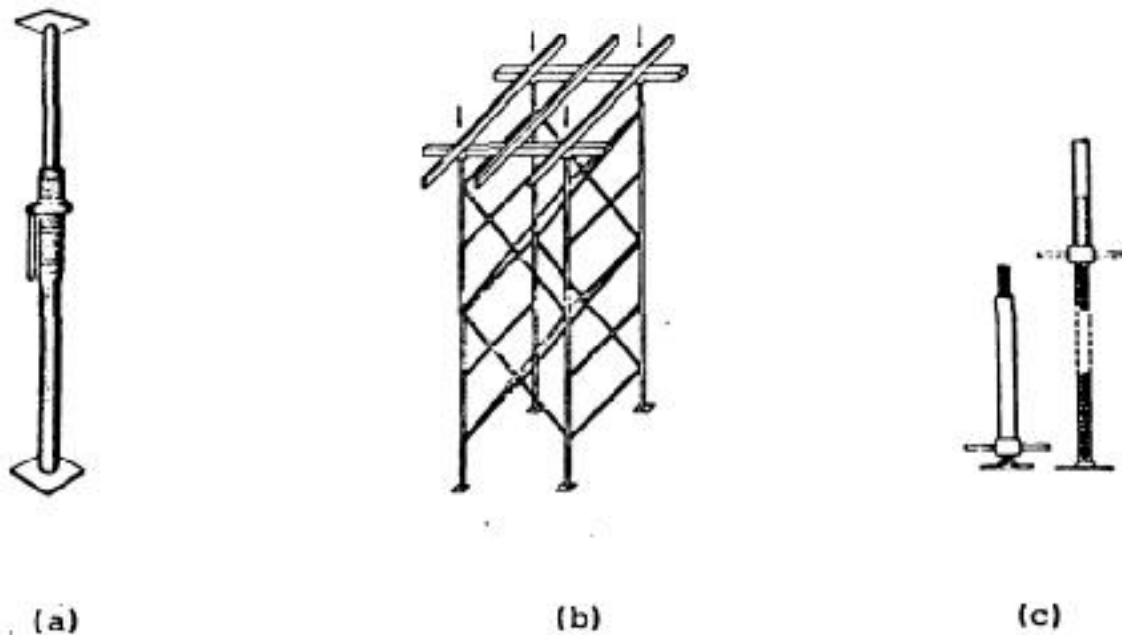


Fig. 3.6 Puntales telescópicos y elementos tubulares diversos (ref. 1)

3.4 Soporte lateral

3.4.1 Consideraciones generales

Como se señaló en el inciso 3.2, en las normas de emergencia (ref. 28) se exige que en los edificios dañados se prevea un soporte lateral adecuado durante las operaciones de reparación. La determinación de la capacidad y la distribución de los soportes laterales es uno de los aspectos más difíciles del diseño de sistemas de protección temporal. Entre otros factores es necesario considerar la resistencia y localización de las porciones de la estructura original que no hayan sufrido daños graves. Además debe procurarse que el sistema de apuntalamiento estorbe lo menos posible, tanto el uso normal del edificio como los trabajos de la reparación definitiva.

El soporte lateral puede lograrse con puntales inclinados y con sistemas de contraventeo de diversos tipos. En los siguientes incisos se describen algunas alternativas posibles (refs. 1, 12 y 13).

3.4.2 Soporte lateral de muros

Debe proporcionarse soporte lateral a los muros de carga de mampostería o concreto a fin de que no caigan hacia afuera debido a posibles réplicas del sismo o a otras acciones horizontales, lo que ocasionaría el derrumbe de los pisos o techos que sostienen. Esto puede hacerse mediante un apuntalamiento exterior semejante al ilustrado en la fig. 3.7. Los pun

tales pueden estar formados por dos vigas unidas por pernos o flejes, colocadas a distancias convenientes según las fuerzas que se estima que deben resistir. Deben apoyarse a la altura de los pisos sobre piezas verticales de madera, unidas al muro por elementos de conexión adecuados para resistir la componente vertical del puntal inclinado. El extremo inferior debe tener apoyo, empotrándolo o por algún otro procedimiento para que resista fuerzas laterales. La inclinación de los puntales con respecto a la horizontal no debe ser superior a 45° y preferiblemente debe ser de aproximadamente 25° . El apoyo sobre el suelo debe ser adecuado. Para su ajuste suelen disponerse cuñas en el extremo inferior. El apuntalamiento puede hacerse también con perfiles laminados o con tubos de acero (ref. 1).

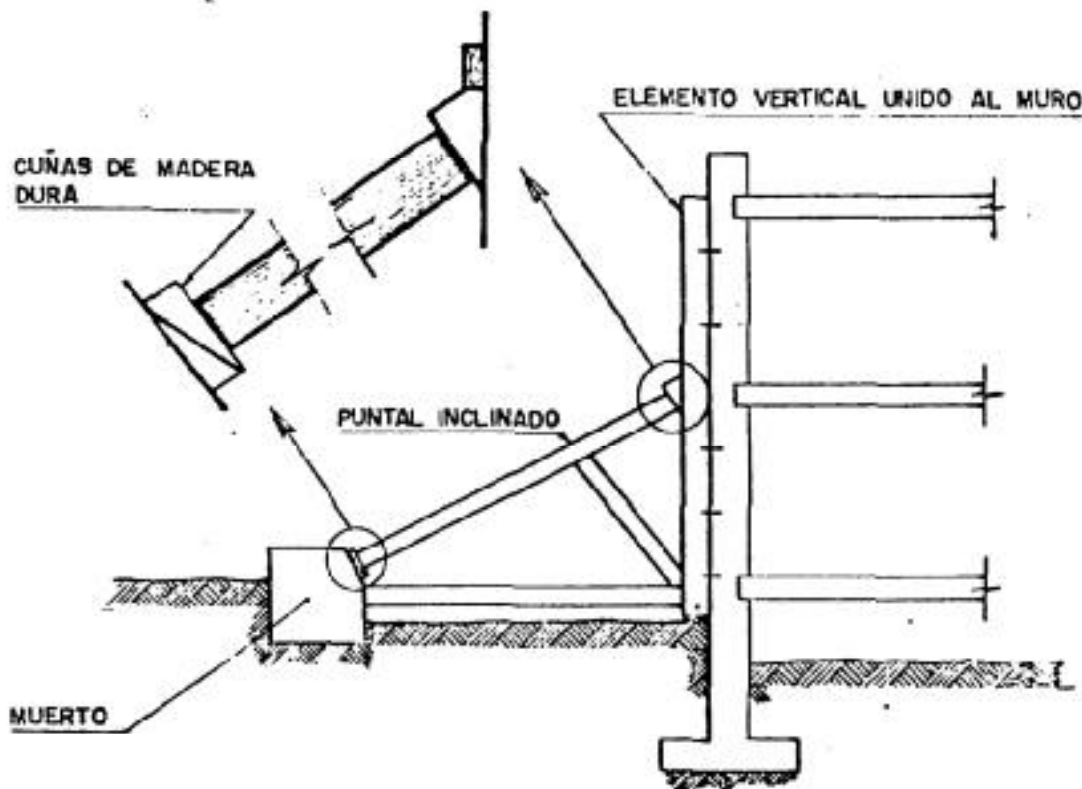


Fig. 3.7 Apuntalamiento exterior

Quando no se dispõe de espaço suficiente para colocar puntal o tensores inclinados exteriores, pueden utilizar-se tirantes de acero que unan los muros exteriores con los interiores perpendiculares a ellos. En las figs. 3.8 y 3.9 se ilustran dos alternativas posibles. También se pueden ligar los muros exteriores a elementos del sistema de piso como en la fig. 3.10, o colocar tirantes de muro a muro como en la fig. 3.11 (ref. 1).

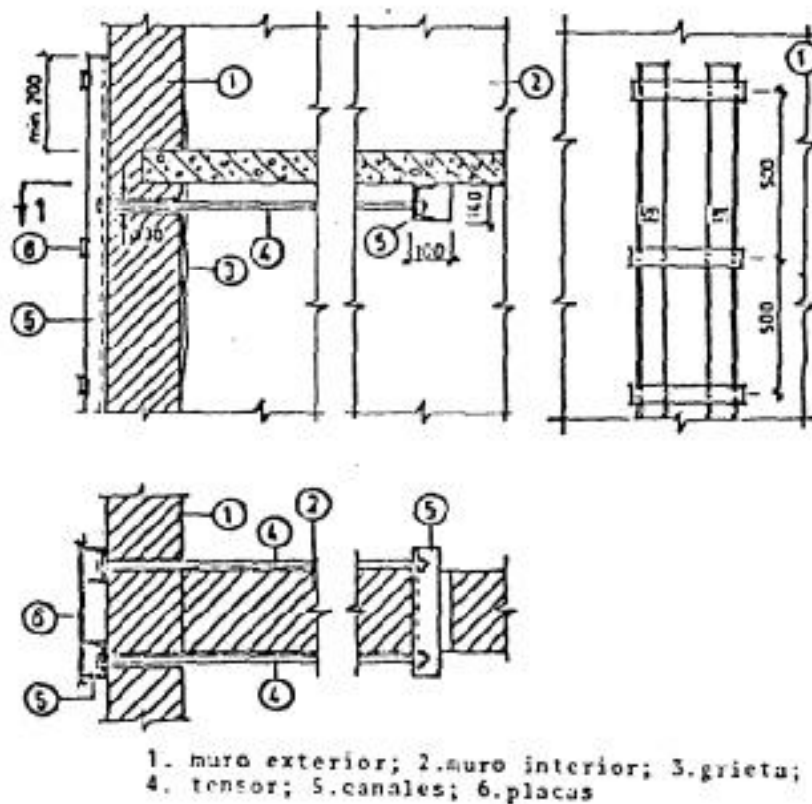


Fig. 3.8 Soporte interior con tirantes.
Alternativa A (ref. 1)

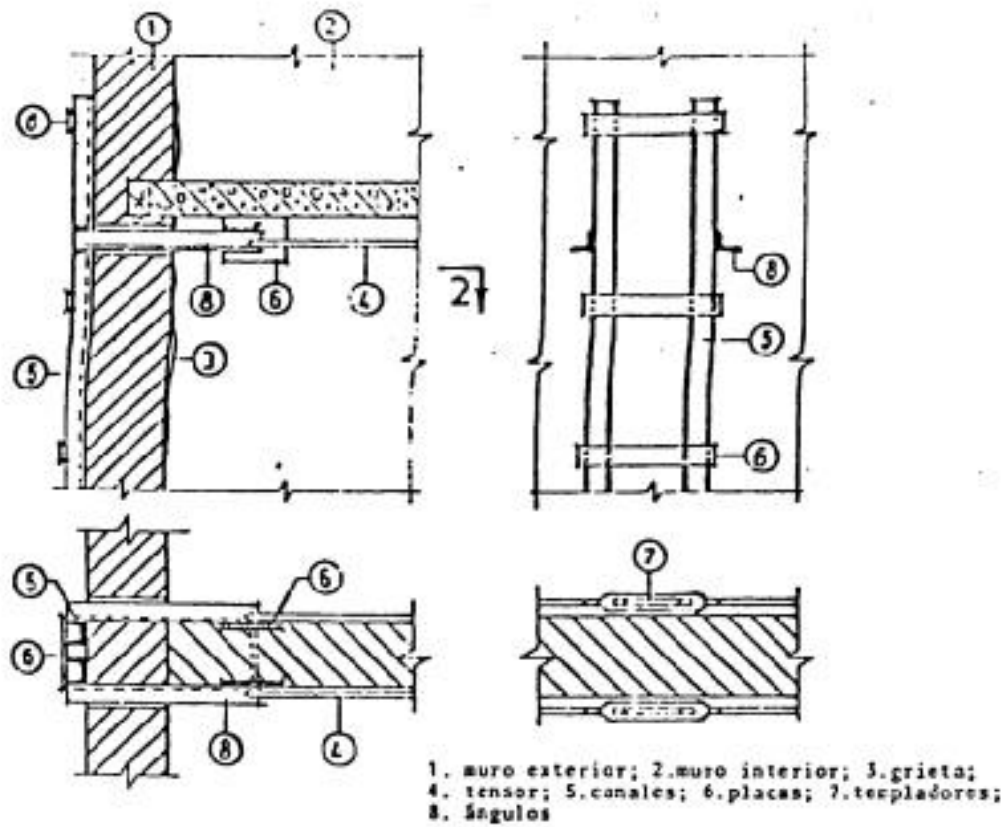


Fig. 3.9 Soporte interior con tirantes
 Alternativa B (ref. 1)

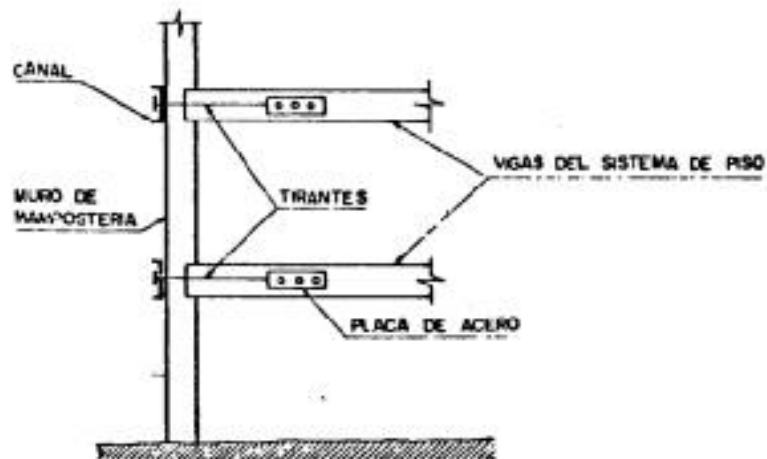


Fig. 3.10 Anclaje de muro exterior a vigas de los sistemas de piso

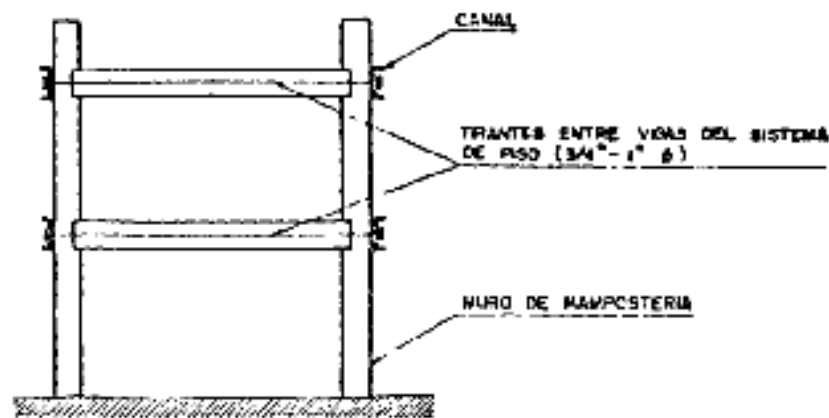


Fig. 3.11 Anclaje de muro a muro

Debe observarse que no siempre estos sistemas de soporte de los muros exteriores son suficientes para garantizar la estabilidad general de una estructura. Así en algunas situaciones deben complementarse con contraventeos semejantes a los que se describen en el siguiente inciso.

3.4.3 Contraventeo de marcos

Los edificios a base de marcos pueden rigidizarse por medio de contraventeos formados por miembros diagonales de madera o de acero que trabajen en compresión, dispuestos en la forma indicada en la fig. 3.12. Para que sean efectivos deben acunarse adecuadamente en ambos extremos. Debe también revisarse que la resistencia a cortante tanto de la viga como de la columna en los apoyos de los puntales inclinados sea suficiente para resistir las componentes debidas a dichos elementos rigidizantes (ref. 1 y 13). Si las columnas no son capaces de resistir las componentes verticales introducidas por el contra-

venteo, será necesario completarlo con elementos adicionales verticales. Una forma de lograr lo anterior se muestra en la alternativa de contraventeo de la fig. 3.13.

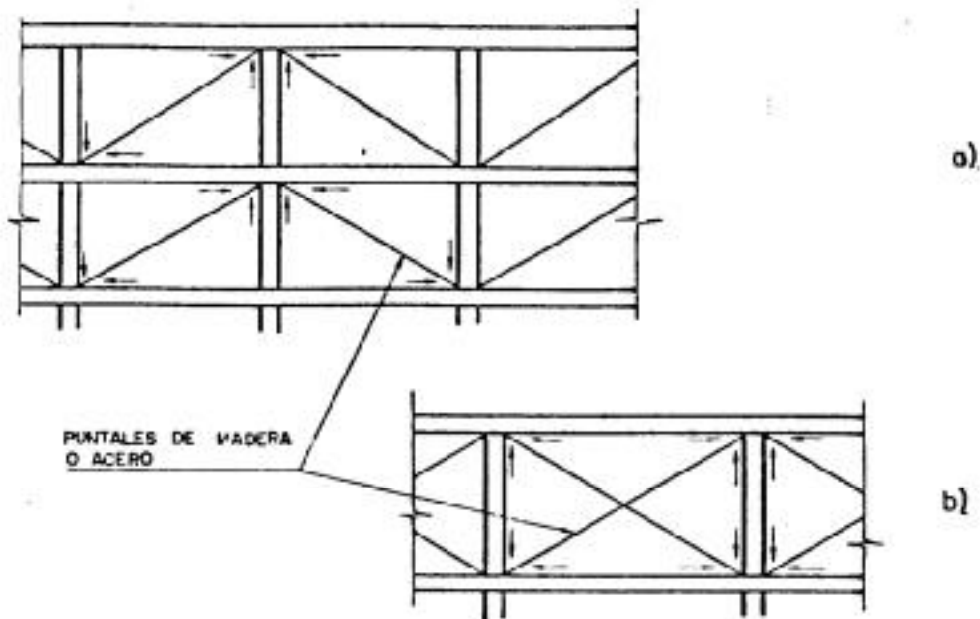


Fig. 3.12 Contraventeo con puntales en compresión

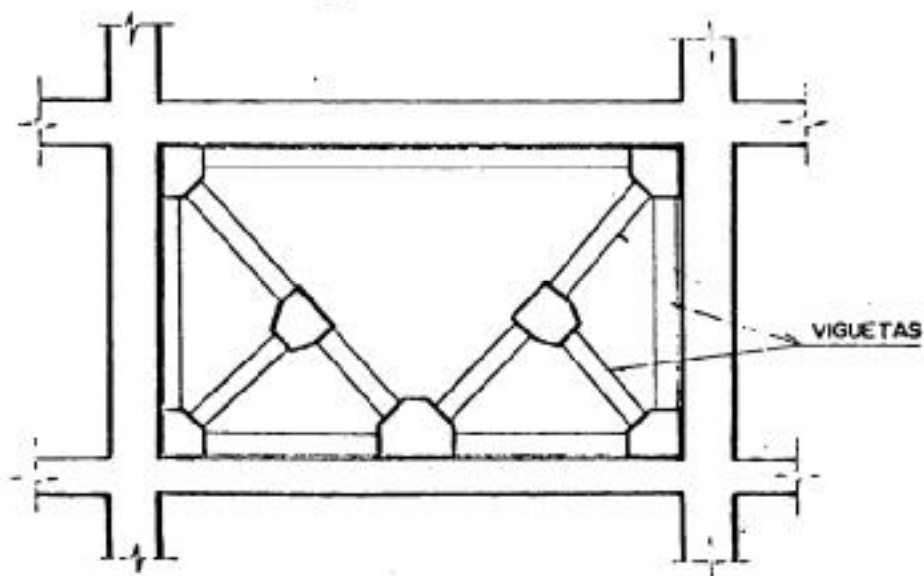


Fig. 3.13 Alternativa de contraventeo con perfiles metálicos (ref. 4)

El contraventeo puede también realizarse con miembros sujetos a tensión como se indica esquemáticamente en la fig. 3.14. Los miembros pueden consistir en cables o en perfiles laminados de acero (ref. 13). La ventaja de este tipo de contraventeo es que los miembros no están expuestos a pandeo. Los perfiles laminados se dimensionan por los métodos usuales de esfuerzos permisibles o de resistencia última. Los cables suelen dimensionarse por resistencia última ya que el dato que acostumbran dar los fabricantes es la carga de rotura. Un factor de seguridad de tres parece razonable. En la ref. 39 se dan resistencias últimas de cables típicos. Para que sean efectivos los cables deben estar ligeramente tensados con templadores. Como en el caso de los elementos rigidizantes en compresión, deben revisarse los efectos que los tirantes producen en las vigas y columnas. Los detalles de unión de los tirantes a la estructura en proceso de reparación deben estudiarse cuidadosamente. En el caso de cables deben tenerse en cuenta las recomendaciones de los fabricantes.

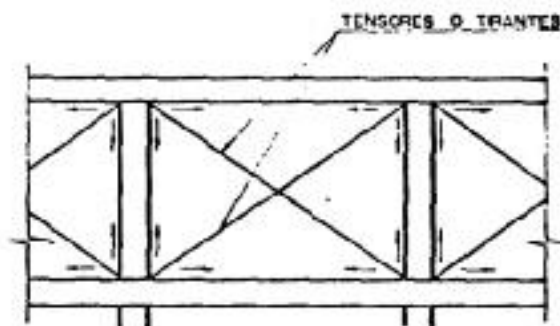


Fig. 3.14 Contraventeo con tensores o tirantes

En algunas situaciones puede resultar conveniente proporcionar soporte a una estructura por medio de tirantes exteriores en la forma ilustrada en la fig. 3.15. En tales casos es necesario diseñar un muerto de anclaje apropiado. El diseño del muerto debe hacerse de manera que se cuente con un factor de seguridad mínimo de 1:5 para las siguientes condiciones (Ref. 13):

- 1a. El peso del muerto debe ser superior a la componente vertical del tirante.
- 2a. La superficie del muerto que actúa sobre el suelo debe ser lo suficientemente grande para que el empuje pasivo sea superior a la componente horizontal del tirante.
- 3a. La localización del anclaje del tirante debe ser tal que no ocasione el volteo del muerto.

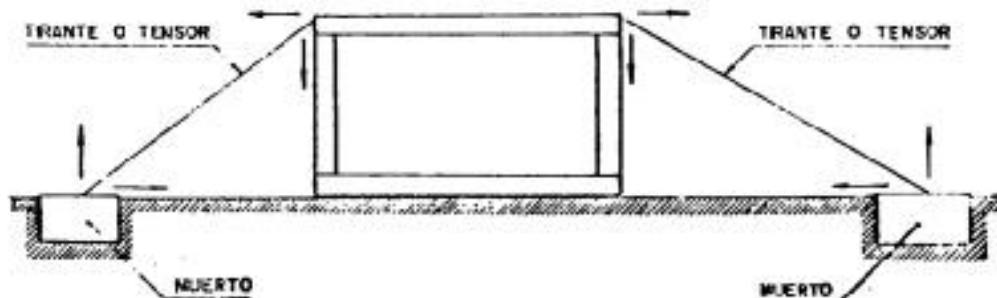


Fig. 3.15 Soporte lateral con tirantes o tensores exteriores.

3.5. Métodos de acuar

Para transferir cargas de los elementos estructura les dañados al sistema de soporte temporal es necesario acuar adecuadamente los miembros del sistema que trabajan en compresión. Esto puede hacerse por medio de diversos dispositivos: cuñas de madera; gatos mecánicos; gatos hidráulicos ordinarios y gatos hidráulicos planos (ref. 1).

Las cuñas de madera deben fabricarse de madera dura, seca y libre de nudos. Las fibras deben quedar orientadas como se muestra en la fig. 3.16. Una vez ajustadas deben evitarse posibles movimientos clavándolas (fig. 3.17a). No deben usarse cuñas sueltas como en la fig. 3.17b.

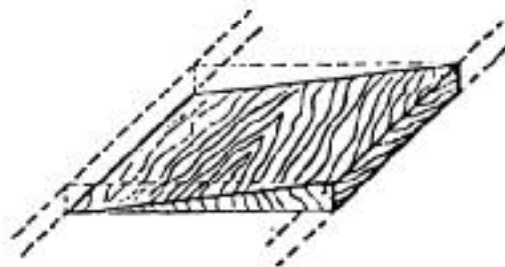
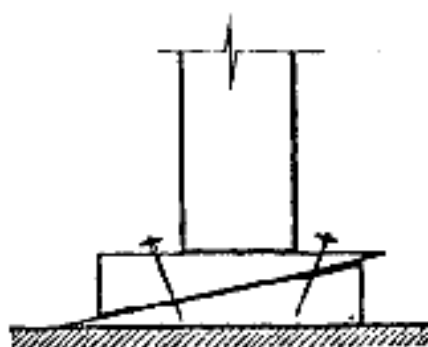
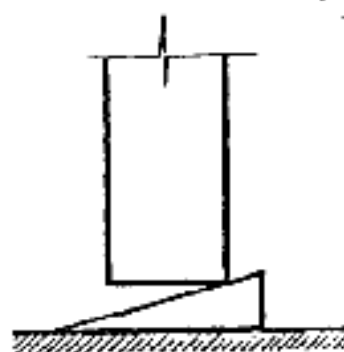


Fig. 3.16 Orientación de las fibras en cuñas de madera.



a) CLAVAR PARA EVITAR MOVIMIENTOS.



b). USO INCORRECTO.

Fig. 3.17 Uso de cuñas de madera

Los gatos mecánicos deben tener una superficie de apoyo proporcional a la carga que transmiten, de manera que no haya problemas de penetración excesiva, además dicha superficie debe estar en relación con la altura del gato de manera que no haya riesgo de volteo. Como regla general se sugiere que se cuente con 50 cm^2 de apoyo por cada tonelada de carga.

Varios gatos hidráulicos pueden conectarse de manera que apliquen igual carga simultáneamente en varios elementos del sistema de apoyo. Los gatos hidráulicos deben estar calibrados de manera que el operador pueda relacionar la presión del aceite con la carga aplicada. Una ventaja de los gatos hidráulicos es que pueden manejarse a distancia, sin que los operarios corran peligro durante el acñado.

Cuando la base de los gatos no proporciona un apoyo adecuado puede intercalarse una pieza de madera o una placa

de acero entre la base y la superficie de apoyo para lograr una mejor repartición de la carga.

Los gatos planos constituyen un medio eficaz de acuñar y pueden operarse a distancia al igual que los gatos hidráulicos ordinarios. Generalmente funcionan inyectándoles agua o aceite. Si se desea hacer permanente la deformación del gato puede inyectarse lechada de cemento; la presión de inyección deberá mantenerse mientras la lechada endurece. Los gatos planos suelen ser de forma circular aunque también se fabrican con otras formas. En la fig. 3.18a se muestra un gato plano antes y después de la inyección de líquido. A veces es conveniente colocar lechada, madera dura o placas de plomo entre la estructura soportada y el gato plano para mejorar las condiciones de apoyo (fig. 3.18b). Una vez terminada la operación de gateo es conveniente instalar cuñas de madera como medida de seguridad en caso de una pérdida de presión (fig. 3.18c).

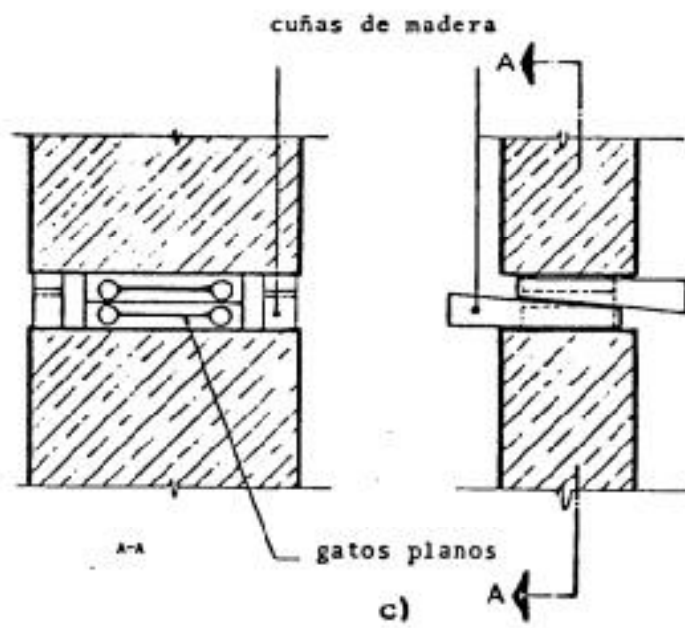
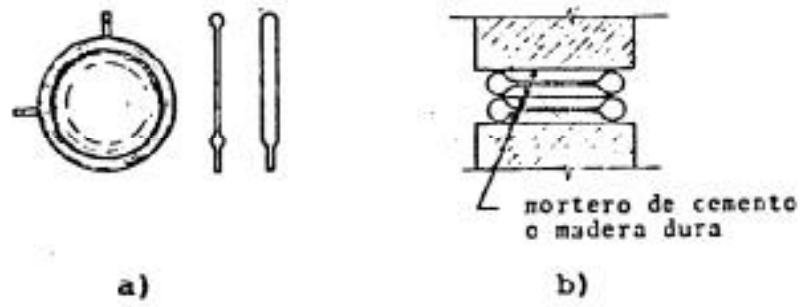


Fig. 3.18 Gatos planos (ref. 1).

4. EVALUACION DEFINITIVA Y REPARACION

4.1 Objetivos

El objetivo de la evaluación definitiva es determinar si la estructura dañada es reparable; esto es, si es posible recuperar parte de la inversión que representaba antes del sismo. En general esto será así cuando el costo de la reparación sea razonablemente menor del que implica demoler y volver a construir una estructura (refs. 1, 5, 55 y 63).

Como ya se indicó en el inciso 2.5, la determinación de la importancia de los daños es la base para el planteamiento de la reparación, que podrá llevarse a cabo en dos niveles:

- a) Restauración: Recuperación de la capacidad sismo-resistente original
- b) Refuerzo: Incremento de la capacidad sismo-resistente original y mejoramiento de la estructuración.

El estudio de las alternativas de reparación y las limitaciones del caso, permitirá finalmente elegir la solución adecuada para proceder a su diseño y construcción (refs. 62, 75, 96 y 102).

4.2 Inspección detallada

Esta última etapa de la identificación de los daños en la estructura, se deberá efectuar después de su rehabilitación temporal. Para su realización, tendrán que ser retirados todos los acabados de los elementos estructurales que se sospeche puedan estar dañados con base en la inspección preliminar.

La inspección detallada consiste en registrar la descripción del estado en que se encuentra cada elemento dañado. Para esto se recomienda el uso de fichas individuales que incluyan fotografías del elemento en cuestión. La información que así se recabe, deberá llevarse a copias reducidas de los planos para facilitar su manejo dentro del proyecto de reparación (refs. 4 y 11).

4.3 Información complementaria

Para realizar la evaluación definitiva de la estructura y el proyecto de reparación, además de la identificación de los daños, conviene contar con información adicional sobre el diseño original del edificio, su proceso de construcción y el uso y adaptaciones que haya tenido durante su vida útil. Esta información se puede agrupar en los siguientes conceptos (refs. 1 y 11):

- a) Planos estructurales

- b) Planos arquitectónicos
- c) Planos de instalaciones
- d) Memorias de cálculo
- e) Estudio de mecánica de suelos
- f) Normas de diseño utilizadas
- g) Normas de diseño vigentes para la reparación
- h) Bitácora de la construcción
- i) Informes del control de calidad de los materia
les empleados
- j) Uso actual de la estructura
- k) Remodelaciones o reparaciones previas

Cuando no se tenga disponible la información anterior, sobre todo la correspondiente a los puntos a, b, c y e, será necesario reconstruirla a partir de la propia estructura. Para este objeto, se puede hacer uso de los métodos de verifi
cación de información que se describen en el siguiente inciso.

4.4 Verificación de la información

Es indispensable verificar la validez de la información disponible, pues tanto la estructuración como las propiedades de los materiales de una construcción pueden haber sufrido cambios con el tiempo, o cabe la posibilidad de que no se hayan cumplido las especificaciones del proyecto desde un principio.

Los principales conceptos que requieren ser verifi

cados son los siguientes:

4.4.1 Planos estructurales, arquitectónicos y de instalaciones.

Deberá revisarse la coincidencia entre los planos y la estructura en cuanto a:

- a) Existencia y ubicación de los elementos estructurales
- b) Dimensiones y armado de los elementos estructurales
- c) Existencia, ubicación y tipo de los elementos divisorios
- d) Existencia y ubicación de aberturas
- e) Tipos de acabados y elementos de fachada
- f) Rellenos en azoteas
- g) Uso actual de la estructura
- h) Existencia y ubicación de ductos

Para la localización del refuerzo o de ductos de acero en elementos de concreto, así como para la verificación de sus dimensiones, se puede recurrir al uso de los siguientes sistemas de detección:

- a) Sistemas electromagnéticos (refs 3, 11, 44 y 45). Estos sistemas utilizan un instrumento

que genera un campo electromagnético y que registra las alteraciones que éste sufre en presencia de cualquier objeto que contenga hierro. Además de detectar la posición del refuerzo en elementos de concreto, este procedimiento permite determinar el diámetro de las barras cuando se conoce su recubrimiento.

- b) Radiografías (refs. 3 y 11). Una alternativa menos práctica y más costosa que la anterior, consiste en la toma de radiografías de los elementos de concreto.

4.4.2 Características de los materiales

Para la verificación de las características mecánicas de los materiales se puede hacer uso de los siguientes equipos:

- a) Extractor de corazones (refs. 11, 17, 34 y 45). La extracción y prueba de corazones permite estimar la resistencia del concreto en la estructura y su módulo de elasticidad; también aporta información sobre su composición granulométrica, densidad aparente y estado de carbonatación.
- b) Equipo de ultrasonido (refs. 11, 17 y 45). Es-

te sistema de verificación se basa en el uso de un instrumento que registra la velocidad de un pulso ultrasónico a través del concreto, la que depende de la densidad del mismo. Con esta técnica se pueden hacer estimaciones de la resistencia del concreto y de su módulo de elasticidad, así como del estado de agrietamiento interno.

- c) Esclerómetro (refs. 17, 35 y 45). El esclerómetro es un dispositivo que mide el rebote de un sistema masa-resorte contra la superficie de un elemento de concreto. Con base en relaciones empíricas se puede estimar la resistencia del concreto en función de la lectura del índice de rebote. Estas relaciones deberán corresponder al tipo de curado y a la clase de agregados del elemento en cuestión.
- d) Pistola de Windsor (refs. 17, 36, 45, 46 y 47). Con este instrumento se puede estimar la resistencia del concreto a partir de la penetración de un dardo metálico en un elemento particular. También en esta prueba se recurre al uso de relaciones empíricas penetración -- resistencia, que deberán corresponder al mismo tipo de agregados usado en el elemento en estudio.

- e) Extracción y prueba de barras (ref. 105). Para verificar la calidad del acero empleado se puede recurrir a la extracción de algunas muestras y a su prueba estándar a tensión.

Resulta recomendable recurrir a más de una de las alternativas previamente descritas para tener redundancia en los resultados; así por ejemplo, sería conveniente combinar las pruebas de mayor precisión y costo como a y d con aquellas de menor precisión pero de empleo más sencillo y económico como b y c (ref. 18).

4.4.3 Nivelación y mecánica de suelos

Cuando se tengan indicios de desplomes o hundimientos, será necesario efectuar una nivelación general de la estructura, e incluso se deberán hacer nuevos sondeos y pruebas de laboratorio para la verificación de las características del suelo. Es aconsejable determinar un perfil que muestre la variación de los desplazamientos laterales del edificio con su altura, y realizar nivelaciones periódicas hasta cerciorarse de que ya no hay movimientos significativos.

4.5 Evaluación de la estructura

Para poder evaluar el estado de una estructura dañada, es necesario conocer su capacidad sismo-resistente inicial y con ella como base, tratar de comprender su comporta-

miento durante el sismo y las causas de los daños que se hayan presentado. En este proceso, la experiencia y el buen juicio del diseñador pueden complementarse con las siguientes herramientas:

- a) Análisis aproximado (refs. 4, 5, 19, 75 y 94).
Aplicable en estructuras regulares y de poca altura, este procedimiento consiste en la comparación de la fuerza cortante en cada entrepiso calculada con las normas vigentes, contra la fuerza cortante resistente promedio.
- b) Análisis convencional (refs. 3, 16 y 82). El análisis convencional de la estructura según las normas en vigor (refs. 28 y 29), permite conocer su capacidad resistente inicial y localizar los elementos más críticos. En este caso, generalmente será preferible recurrir a un análisis dinámico con base en un espectro de diseño.
- c) Análisis no-lineal (refs. 4, 5, 69, 71 y 78).
Con este método se puede intentar reproducir el esquema de daños mediante el análisis paso a paso de la estructura, considerando el comportamiento no-lineal de sus elementos. Deberán emplearse varios acelerogramas.

En buena parte de los casos podrá usar el análisis aproximado en combinación con el convencional y solamente en

estructuras de gran complejidad será necesario recurrir al análisis no - lineal.

Debe resaltarse la necesidad de localizar los puntos débiles de la estructura. Los más comunes suelen ser los siguientes (ref. 2):

- a) Columnas cortas debidas a muros de altura in completa
- b) Cambios abruptos de rigidez y estructuración en elevación
- c) Torsión excesiva por una distribución inadecua da de la rigidez en planta
- d) Conexiones columna - losa plana
- e) Incompatibilidad de deformaciones entre marcos y muros diafragma
- f) Conexiones excéntricas viga - columna

Si el estudio concluye que la capacidad de la estructura original cumple con las normas vigentes (refs 28, 29, 30 y 31), los daños son ligeros y se originaron en pocos elementos, entonces el camino a seguir será la restauración de dichos elementos procurando aumentar su ductilidad.

Si por lo contrario, la estructura original no cum ple con las normas vigentes (refs. 28, 29, 30 y 31), se presen taron daños generalizados fuertes o graves y se encontraron problemas de estructuración, entonces la reparación deberá ten

der al refuerzo de la estructura. En estos casos, además de la restauración y el refuerzo de los elementos dañados, será recomendable introducir nuevos elementos rigidizantes, sobre todo si se tiene una estructuración deficiente.

Es importante tener en cuenta que la restauración de un elemento dañado, en general sólo permite recuperar entre 70% y 80% de la rigidez original, de tal forma que cuando más del 25% de los elementos de una estructura deben restaurarse, es necesario recurrir también al refuerzo de la misma (refs. 1, 2 y 74).

Con base en las técnicas de restauración y refuerzo descritas en los siguientes capítulos, deberán plantearse todas las alternativas posibles de reparación, las cuales podrán incluir demoliciones parciales. La solución definitiva será aquella que logre conciliar las limitaciones de cada caso en particular y que en general serán las siguientes (refs. 3, 5, 55, 64 y 81):

- a) Costo
- b) Funcionalidad
- c) Espacio
- d) Estética
- e) Importancia social
- f) Dificultad técnica

4.6 Proyecto de reparación

Si de acuerdo con la evaluación definitiva de la estructura se considera que es reparable, deberá procederse al diseño de la alternativa elegida de acuerdo con las normas en vigor (refs. 28, 29, 30 y 31).

Será necesario tener en cuenta para el diseño del refuerzo de la estructura, que en la mayoría de los casos éste contribuirá solamente a tomar la carga viva y la accidental. Especial atención deberá otorgarse al diseño de las conexiones entre la estructura original y los elementos de refuerzo, así como a la transmisión de las cargas de éstos a la cimentación.

5. MATERIALES DE REPARACION

5.1 Consideraciones generales

La reparación de estructuras de concreto y mampos tería necesita materiales adecuados para el resane de grietas y la sustitución de morteros y concretos dañados, que sean ca paces de alcanzar rápidamente su resistencia y mantener su ad herencia indefinidamente (refs. 22, 23 y 24). En combinación, también se requiere acero de refuerzo, placas y perfiles metá licos, soldadura y conectores mecánicos (refs. 106, 107, 108, 110 y 111).

Algunos productos se comercializan ya dosificados y con instrucciones precisas para su aplicación. Cuando no sea así, será necesario respaldar su uso con pruebas de laboratorio.

En la elección de los materiales de una reparación, debe procurarse que exista compatibilidad entre su resistencia y rigidez y la de los materiales originales.

5.2 Resinas

Las resinas se emplean por lo general en la inyec ción de grietas en concreto de menos de 0.5 mm de ancho, o bien como pegamento para unir elementos metálicos al concreto.

Estos materiales son por lo general sistemas com-

puestos por una resina (epoxi, poliéster, acrílico, etc.) y su endurecedor (refs 14, 20 y 51). Ambos se pueden conseguir en forma líquida o sólida. Una vez mezclados, el endurecimiento se produce después de unos cuantos minutos, lapso que debe ser aprovechado para su aplicación. La resistencia final se alcanza en unas cuantas horas (refs. 1, 37, 38 y 48). Para la preparación y el empleo de las resinas deben seguirse las instrucciones especificadas por el fabricante (refs. 40, 41 y 61).

Las propiedades más relevantes de las resinas son: excelente capacidad adhesiva; alta resistencia y dureza; resistencia a los ácidos, álcalis y solventes; baja contracción y gran durabilidad. Su principal inconveniente es su baja resistencia al calor, pues pierden su resistencia a temperaturas por encima de los 100° C (refs. 1, 2 y 86).

5.3 Lechadas y morteros

La lechada de cemento es una mezcla muy fluida de agua y cemento, que se puede emplear en la inyección de grietas menores de 0.5 mm de ancho en elementos de concreto o mampostería y en la preparación de la superficie de contacto entre concreto nuevo y viejo para mejorar la adherencia. En grietas de más de 0.5 mm de ancho es preferible recurrir al uso de lechadas de morteros de cemento-arena (refs 1 y 11). Para reducir la contracción y aumentar la fluidez de la lechada, es recomendable utilizarla en combinación con aditivos expanso-

res y plastificantes (refs. 1 y 42).

Existen en el mercado productos especiales ("grouts") a base de cemento, aditivos y arenas seleccionadas, que se distribuyen en dosificaciones específicas para lograr lechadas de baja contracción que desarrollan altas resistencias a edad temprana (refs 1 y 42). Estos materiales son muy útiles para el anclaje de conectores metálicos en el concreto.

Para el resane de huecos, tanto en concreto como en mampostería, es conveniente recurrir al uso de morteros de cemento-arena en combinación con aditivos expansores que minimicen la contracción (refs. 42 y 58). Asimismo, se pueden emplear morteros epóxicos a base de resinas, de gran adherencia, alta resistencia y baja contracción, que también proporcionan excelentes resultados en el anclaje de conectores metálicos en el concreto (refs. 1, 3, 11,14, 15 y 42).

5.4 Concretos

5.4.1 Concreto colado in - situ

Los principales obstáculos que enfrenta el uso del concreto colado in-situ en reparaciones son la contracción y la falta de adherencia que producen la pérdida de contacto con el concreto viejo. Para evitar la contracción se puede recurrir al uso de algún aditivo estabilizador (refs. 1 y 42) y para mejorar la adherencia, a la preparación de la superficie de contacto con lechada o con algún adhesivo (refs. 11 y 42).

Es posible acelerar el fraguado y mejorar la trabajabilidad del concreto por medio de aditivos acelerantes y plastificantes (refs. 15 y 42).

El colado debe efectuarse por capas de menos de 20 cm, compactadas con vibrador (ref. 11).

Un buen curado es importante para minimizar las contracciones. Para efectuarlo pueden utilizarse membranas de curado (ref. 42).

5.4.2 Concreto lanzado

El concreto lanzado presenta muchas ventajas como material de reparación, sobre todo para muros de concreto o mampostería: buena adherencia; alta resistencia y necesidades mínimas de cimbra (refs. 1, 9, 15 y 109).

El equipo utilizado mezcla neumáticamente la arena y el cemento con el agua en el momento de la expulsión y proporciona la cantidad mínima necesaria para la hidratación, logrando así altas resistencias (refs. 25 y 54).

Para minimizar la contracción es necesario efectuar un curado apropiado. El uso de aditivos acelerantes (ref. 42) permite alcanzar la resistencia especificada con rapidez.

5.4.3 Concreto a base de resinas

Este material se obtiene al sustituir el cemento

por resinas (epoxi, poliéster, acrílico, metacrilato, etc.) en la fabricación de concreto. Resulta útil para reemplazar pequeños volúmenes de concreto dañado, por su gran adherencia, alta resistencia y baja contracción (refs. 1, 3, 9, 11, 15 y 21).

Además de su baja resistencia al calor, los concretos a base de resinas tienen el inconveniente de tener un módulo de elasticidad mucho menor que los concretos de cemento Portland (refs. 1, 3 y 9).

5.5 Soldadura y anclajes mecánicos

La reparación de elementos de concreto y mampostería requiere con frecuencia la adición de acero de refuerzo y la fijación de conectores metálicos.

Debido a las altas temperaturas que genera, el uso de soldadura para unir el acero de refuerzo nuevo con el viejo puede producir cambios en sus características mecánicas. Por esta razón, se debe efectuar la soldadura de acuerdo con las normas (refs. 106 y 107), poniendo especial atención en precalentar el acero y en evitar su enfriamiento rápido. Una alternativa para la unión de barras son los sistemas de extrusión (ref. 112).

La necesidad de anclar elementos conectores metálicos en el concreto se puede resolver ahogándolos con lechadas o morteros de los descritos en 5.3. Otra opción consiste en recurrir a anclajes mecánicos como los clavos o pernos hin

cados por disparo; las barrenanclas y los taquetes (refs. 110 y 111).

6. REESTRUCTURACION

6.1 Consideraciones generales

Será necesario modificar la estructuración de un edificio dañado, cuando de la evaluación definitiva se desprenda que no es suficiente el refuerzo de sus elementos para cumplir con la capacidad sismo-resistente exigida por las normas en vigor, o bien, que la causa principal de los daños se debió a una estructuración deficiente, por exceso de asimetría e irregularidades en planta o en elevación.

La forma de corregir la estructuración es principalmente mediante la inclusión de nuevos elementos que aumenten y balanceen la rigidez y la resistencia. Estos pueden ser:

- a) Muros de rigidez
- b) Muros de relleno
- c) Marcos, armaduras y contraventeos
- d) Contrafuertes
- e) Muros de mampostería

La elección del plan de reestructuración deberá efectuarse para cada problema particular en función de sus limitaciones. En las refs. 2, 16 y 88 se incluyen algunas recomendaciones y criterios que se pueden usar para componer las distintas alternativas que deberán ser analizadas durante el proceso de evaluación descrito en el capítulo 4.

Es importante tener en cuenta la compatibilidad entre la rigidez de la estructura original y la de los nuevos elementos; si ambas son del mismo orden de magnitud, como sería el caso de añadir marcos a una estructura también a base de ellos, puede considerarse un trabajo de conjunto, pero si por el contrario son muy dispares, como en el caso de incluir muros de rigidez en una estructura de marcos, puede resultar más conveniente diseñar los elementos nuevos para tomar toda la carga lateral, sin descuidar la revisión de las fuerzas que se introducen en la estructura original.

De particular importancia resulta que el diseño de las conexiones entre los nuevos elementos y la estructura original, garantice la continuidad. Deberá también considerarse que es indispensable revisar la transmisión a la cimentación de las cargas que actúan en los nuevos elementos, lo que puede llevar a la necesidad de modificarla, o bien de construir una cimentación especial para ellos.

En los siguientes incisos se describen con más detalles los distintos tipos de elementos que se pueden utilizar en la reestructuración.

5.2 Muros de rigidez

La inclusión de muros de concreto reforzado es una de las soluciones más efectivas para reducir las excentricida-

des de una estructura y aumentar su capacidad sismo-resistente.

La alternativa más cómoda consiste en colocar los muros en la periferia del edificio sin interferir con el funcionamiento del mismo. En este caso, la conexión con la estructura original se puede efectuar mediante estribos anclados en el sistema de piso, o bien a través del colado de una losa adicional de unión (ref. 1) (fig. 6.1).

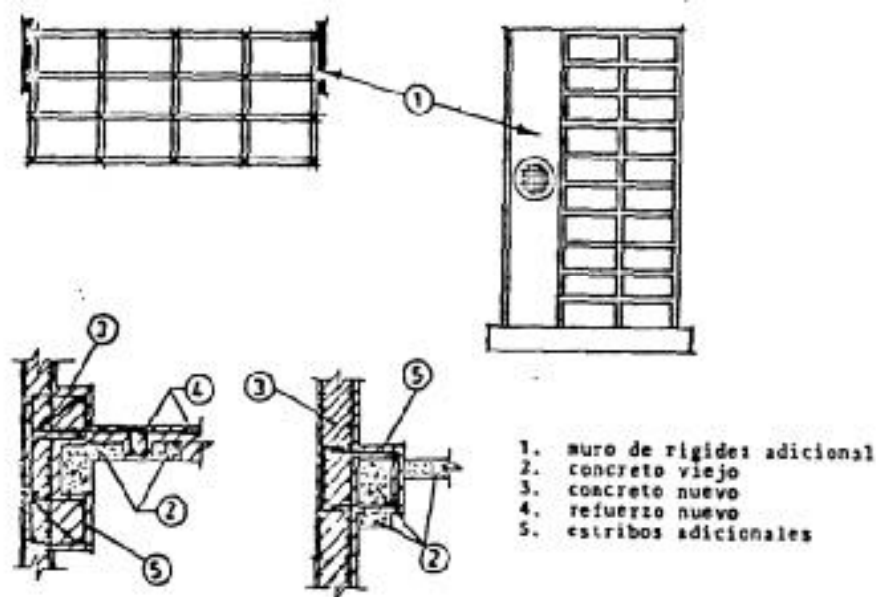


Fig. 6.1 Muros de rigidez periféricos (ref. 1)

Cuando es necesario colocar los muros en el interior de la estructura, la conexión con las losas se efectúa a través de orificios en ellas que permiten el paso del refuerzo longitudinal de los extremos del muro y parte del refuerzo

intermedio; asimismo, estos orificios facilitan la operación de colado (ref. 1) (fig. 6.2).

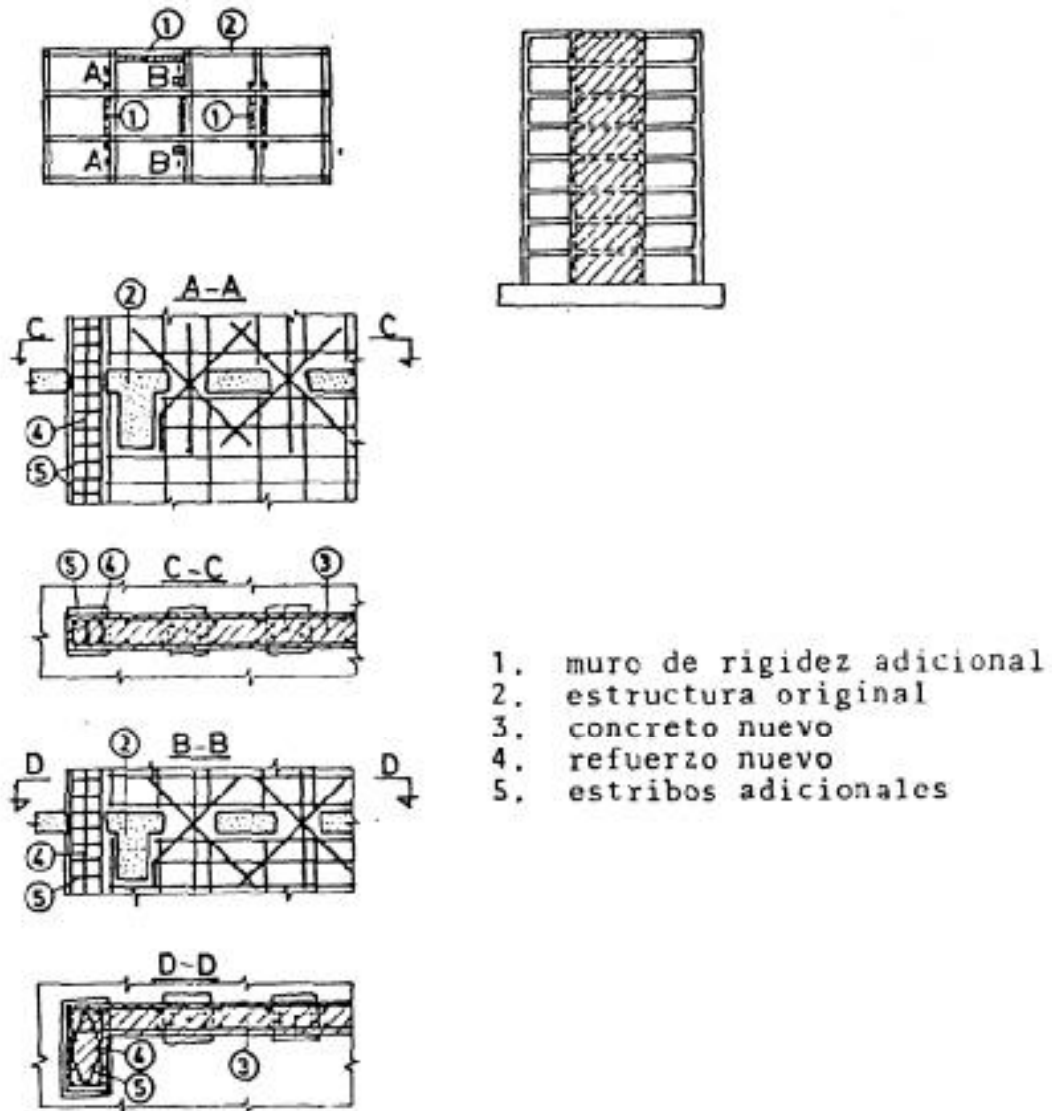


Fig. 6.2 Muros de rigidez interiores (ref.1)

6.3 Muros de relleno

Los muros de relleno son muros de concreto reforzado o de mampostería, ubicados en los ejes de columnas de una estructura (refs. 1, 76, 77, 79, 85, 91, 98 y 99) (fig. 6.3).

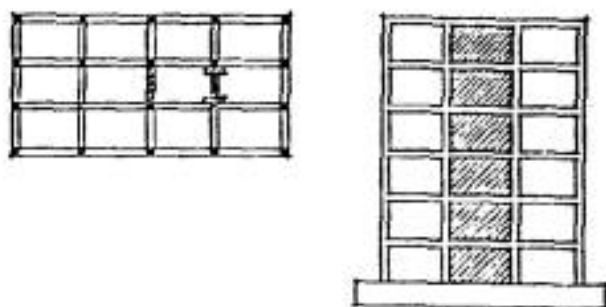
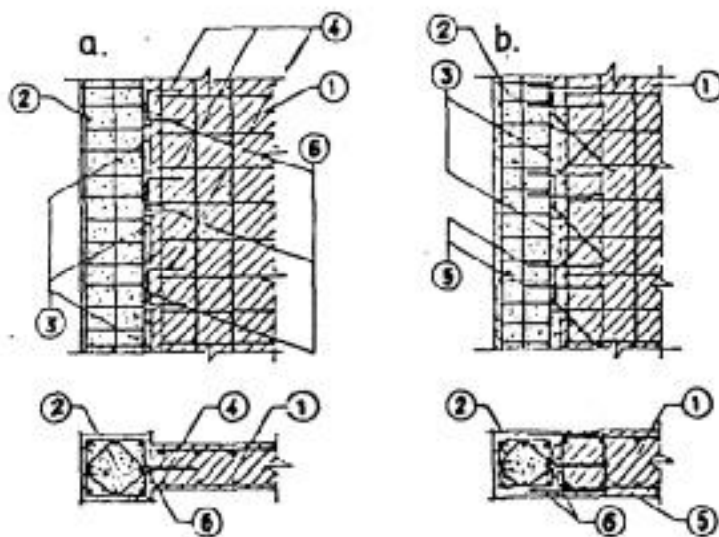


Fig. 6.3 Muros de relleno (ref. 1)

El comportamiento de los muros de relleno puede ser semejante al de muros de rigidez cuyo refuerzo en los extremos lo constituyeran las columnas de la estructura original, siempre que la unión entre los muros y las vigas y columnas garantice la continuidad. En caso contrario, el muro se comporta como un diafragma que introduce grandes fuerzas cortantes en las columnas y en las vigas, lo que además puede hacer necesario el refuerzo de estos elementos.

En las figuras 6.4, 6.5 y 6.6 se muestran algunas alternativas de conexión de muros de relleno de concreto reforzado (refs. 1, 2, 5, 69, 70 y 90).



1. muro de relleno; 2. columna original; 3. pasador de concreto;
 4. conector soldado; 5. estribos soldados adicionales;
 6. soldadura.

Fig. 6.4 Muros de relleno con conectores soldados (ref. 1)

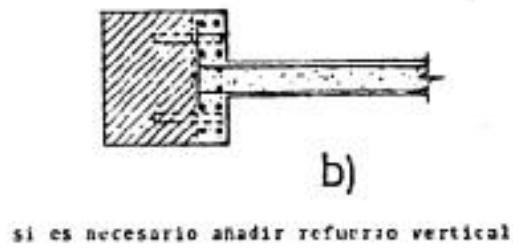
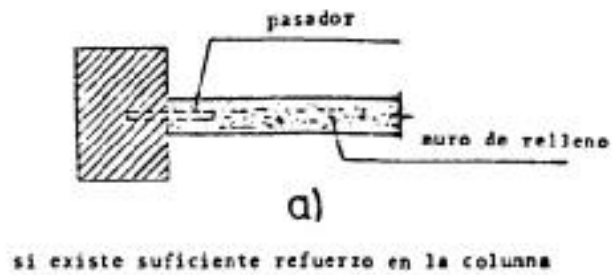


Fig. 6.5 Muros de relleno con conectores ahogados en mortero epóxico (ref. 1)

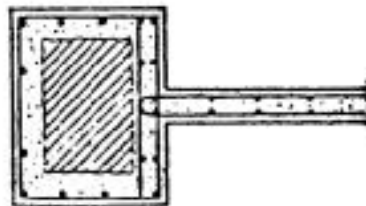


Fig. 6.6 Muro de relleno unido a una columna por encamisado (ref. 1)

Una variante de los muros de relleno que no impide el paso por la cruzía, la constituye el uso de muros a ambos lados de un sólo eje de columnas (refs. 1 y 2) (fig. 6.7). En este caso debe tenerse especial cuidado de revisar el efecto sobre las vigas que ven reducido su claro significativamente.

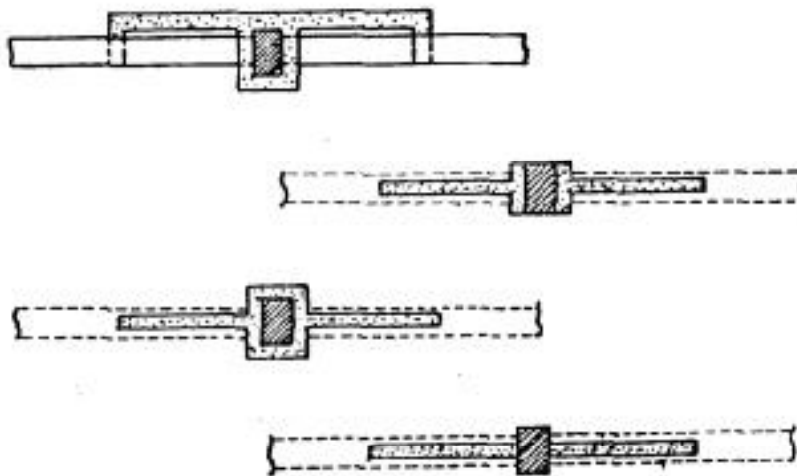


Fig. 6.7 Muros de relleno parcial (ref. 1)

6.4 Marcos, armaduras y contraventeo

Cuando las necesidades de circulación e iluminación, limitan la utilización de muros rigidizantes, se puede recurrir al uso de marcos o armaduras verticales, tanto de concreto reforzado (fig. 6.8) como metálicos (fig. 6.9). En el primer caso, las alternativas de conexión con la estructura existente son las mismas que para los muros de rigidez del in

ciso 6.2, en el segundo se puede recurrir a conectar los elementos horizontales de la armadura mediante elementos metálicos ahogados en perforaciones hechas previamente en las losas (refs. 1 y 92) (fig. 6.9).

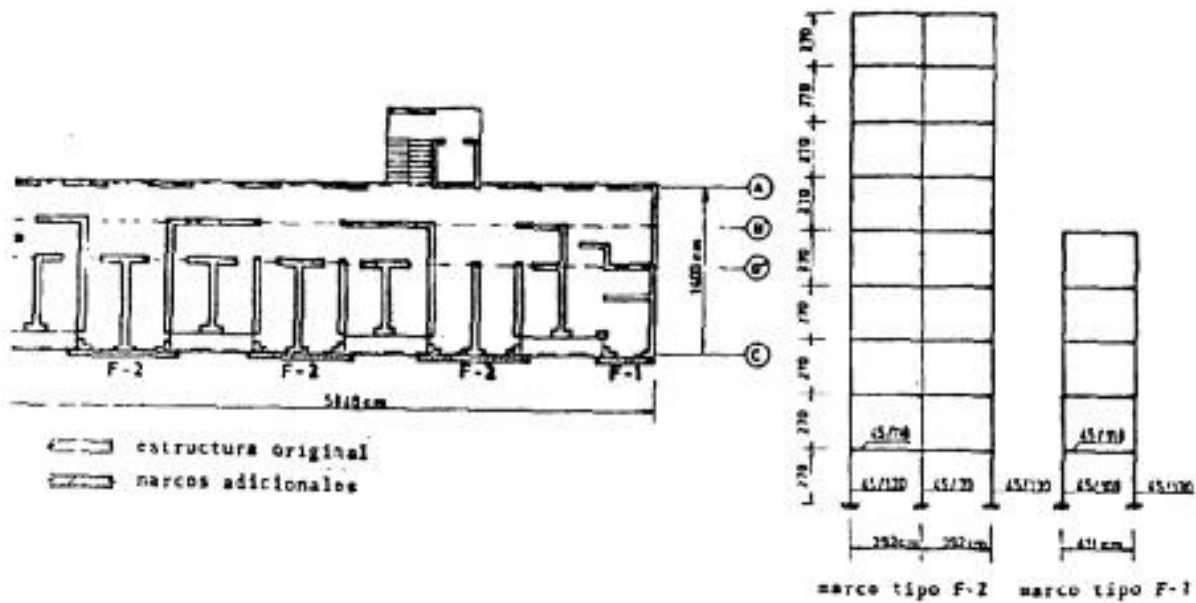


Fig. 6.8 Inclusión de marcos de concreto

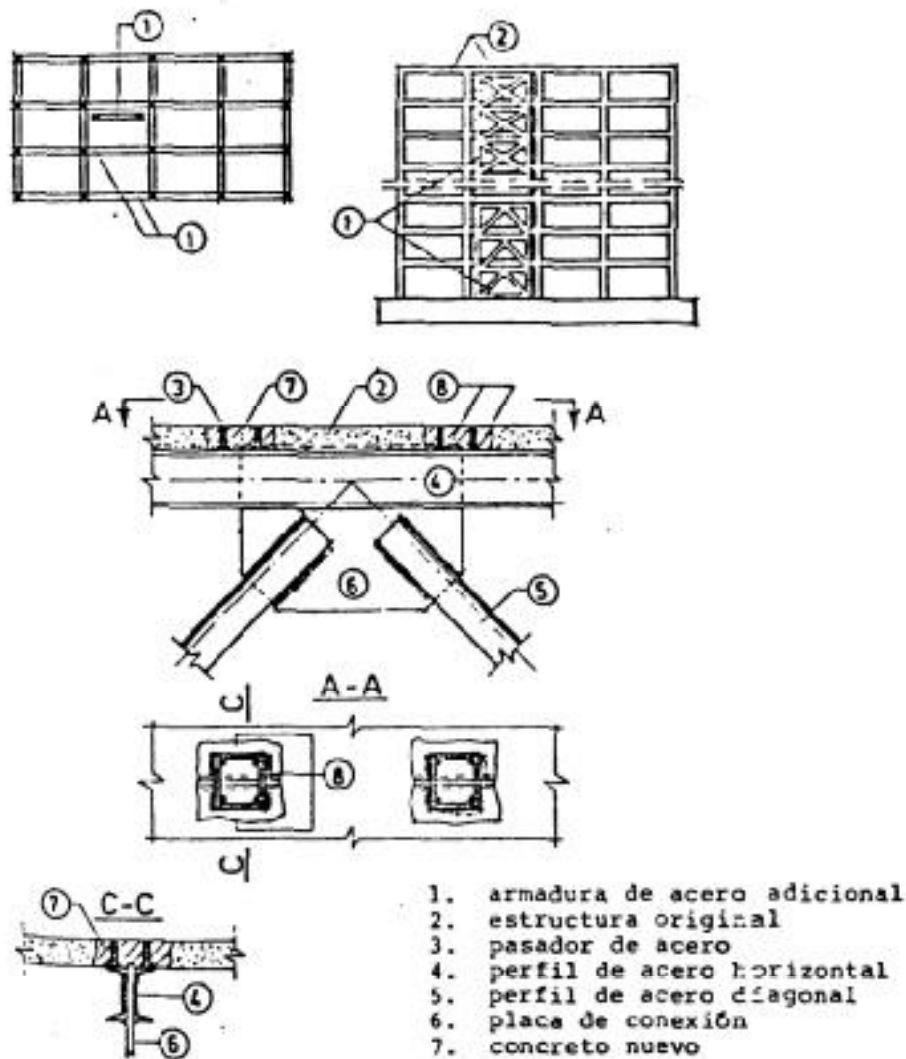


Fig. 6.9 Inclusión de armaduras verticales de acero

Si la resistencia de vigas y columnas de la estructura original es suficiente, sobre todo por cortante, se puede recurrir a la inclusión únicamente del contraventeo para rigidizar la estructura (refs. 49, 77, 89, 92 y 93) (fig. 6.10).

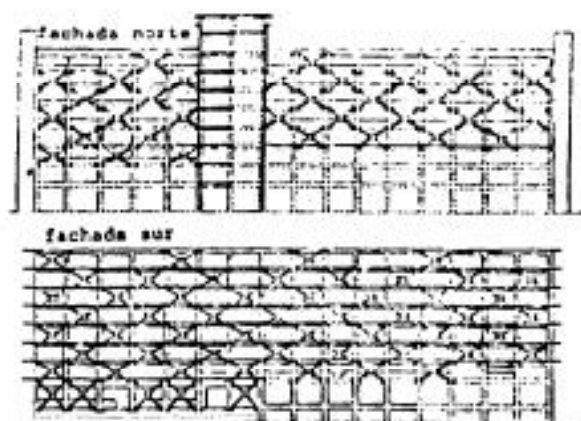


Fig. 6.10 Estructura rigidizada mediante contra-
venteo diagonal metálico (ref. 89)

6.5 Contrafuertes

Cuando no se tienen limitaciones de espacio en el exterior del edificio dañado, es posible utilizar contrafuertes que tomen las fuerzas laterales en estructuras de poca altura.

De manera similar que con la utilización de muros y marcos de concreto, deberá atenderse a la revisión de las conexiones con la estructura original (ref. 72) (fig. 6.11).

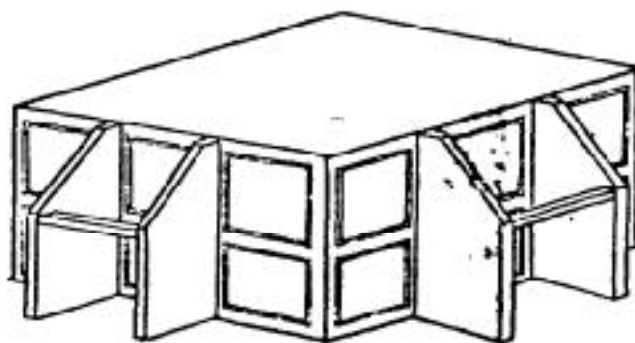


Fig. 6.11 Rigidización mediante contrafuertes

Esta solución tiene la ventaja de que su construcción interfiere muy poco con la utilización del edificio.

6.6 Muros de mampostería

La reestructuración de edificaciones construidas a base de muros de mampostería, se puede llevar a cabo añadiendo nuevos muros. La conexión entre los elementos nuevos con los viejos puede efectuarse mediante el colado de nuevos castillos o bien con conectores de concreto reforzado (refs. 9, 10 y 65) (fig. 6.12).

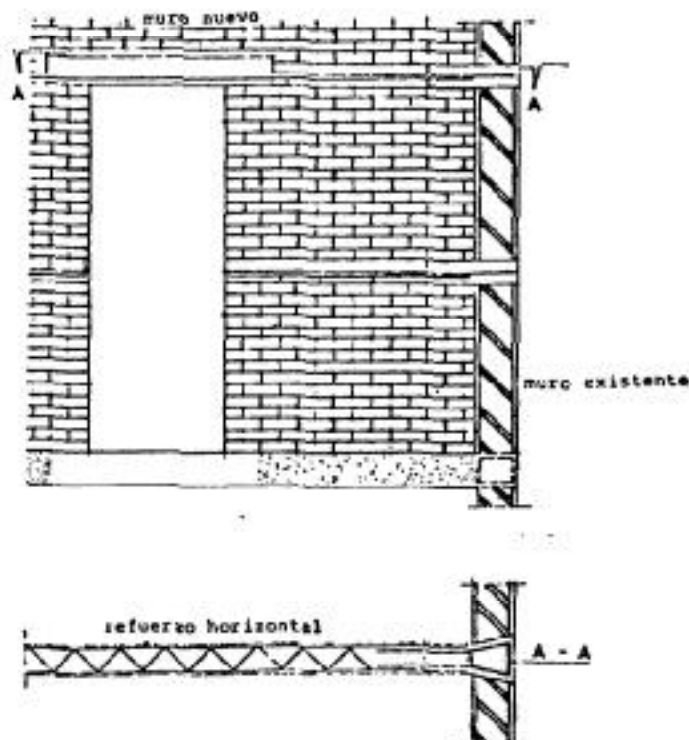


Fig. 6.12 Conexión entre muros de mampostería

Debe revisarse el refuerzo del muro si este es de mampostería hueca, o su confinamiento con dadas y castillos si es de piezas macizas.

7. RESTAURACION Y REFUERZO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

7.1 Consideraciones generales

En el proyecto de reparación se podrá optar por intentar restaurar la resistencia original de los elementos estructurales, o bien por reforzarlos después de su restauración inicial. En ambos casos es conveniente aumentar la ductilidad.

Se debe poner especial cuidado al modelar para su análisis el tipo de refuerzo utilizado, pues si éste es sólo para fuerza cortante, la rigidez por flexión seguirá siendo la del elemento original. Igualmente habrá que tener en cuenta la historia de carga, considerando en general que las cargas muertas son tomadas por los elementos originales, mientras que las cargas vivas y las de sismo son resistidas por el elemento y su refuerzo.

El refuerzo de elementos provoca cambios importantes en su rigidez, que inciden en la magnitud de las fuerzas sísmicas y en su distribución en la estructura. Para evaluar estos efectos, basta en la mayoría de los casos con efectuar un análisis estructural que suponga el comportamiento monolítico del elemento original y su refuerzo.

Será necesario revisar la relación de resistencia y rigidez entre vigas y columnas después del refuerzo, para comprobar que la aparición de articulaciones plásticas ocurra

7. RESTAURACION Y REFUERZO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

7.1 Consideraciones generales

En el proyecto de reparación se podrá optar por intentar restaurar la resistencia original de los elementos estructurales, o bien por reforzarlos después de su restauración inicial. En ambos casos es conveniente aumentar la ductilidad.

Se debe poner especial cuidado al modelar para su análisis el tipo de refuerzo utilizado, pues si éste es sólo para fuerza cortante, la rigidez por flexión seguirá siendo la del elemento original. Igualmente habrá que tener en cuenta la historia de carga, considerando en general que las cargas muertas son tomadas por los elementos originales, mientras que las cargas vivas y las de sismo son resistidas por el elemento y su refuerzo.

El refuerzo de elementos provoca cambios importantes en su rigidez, que inciden en la magnitud de las fuerzas sísmicas y en su distribución en la estructura. Para evaluar estos efectos, basta en la mayoría de los casos con efectuar un análisis estructural que suponga el comportamiento monolítico del elemento original y su refuerzo.

Será necesario revisar la relación de resistencia y rigidez entre vigas y columnas después del refuerzo, para comprobar que la aparición de articulaciones plásticas ocurra

en las vigas antes que en las columnas.

7.2 Restauración

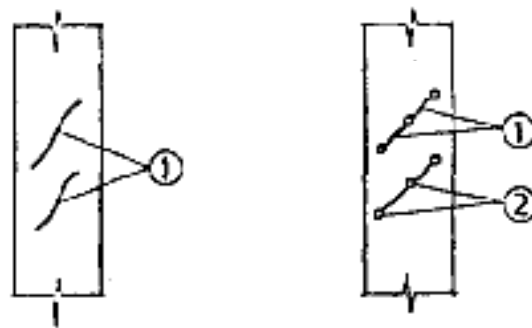
7.2.1 Inyección de grietas

La inyección de resinas o lechadas en las grietas, es un procedimiento adecuado para la restauración de elementos de concreto o mampostería con daños no muy severos.

Con este procedimiento se puede llegar a recuperar la resistencia original, pero solamente del 70% al 80% de la rigidez, debido a la imposibilidad de inyectar la totalidad de las grietas (refs. 1, 2 y 74).

En elementos de concreto se recurre a la inyección de las grietas cuando no se ha producido el aplastamiento del concreto y son pequeñas. En grietas de 0.5 mm de ancho se emplea la inyección de resinas. Para grietas de 0.5 a 5 mm de ancho es necesario mezclar las resinas con algún agregado (ref. 1).

Para efectuar la inyección se deberá proceder a limpiar de polvo las grietas con chorro de aire y a sellarlas superficialmente con yeso o cinta adhesiva, dejando ahogadas boquillas metálicas de 1 cm de diámetro espaciadas de 20 a 50 cm (refs. 1, 11, 14, 15, 20 y 40) (fig. 7.1).



1. grietas; 2. boquillas para inyección

Fig. 7.1 Inyección de grietas en columnas
(ref. 1)

Las resinas se introducen a presión principiando por la boquilla más baja y avanzando hacia arriba (refs. 52, 53, 59 y 60). La presión necesaria depende del ancho de la grieta y de la viscosidad del producto. Para grietas de más de 0.5 mm de ancho se puede intentar la inyección por gravedad (ref. 11).

El equipo de inyección puede ser tan simple como una pistola de calafateo, o tan complejo como un sistema que efectúe la dosificación y la mezcla de los componentes de la resina en forma automática en el momento de la inyección (refs. 1, 25 y 40).

En muros de mampostería con grietas entre 0.5 y 3 mm de ancho se puede recurrir a la inyección de resinas, aunque resulta más práctico el uso de una lechada de mortero de cemento-arena. Para grietas de 3 a 10 mm de ancho será necesario emplear algún aditivo expansor con la lechada (ref. 42).

El procedimiento de inyección (refs. 1, 11 y 40) es semejante al descrito para elementos de concreto (fig. 7.2).

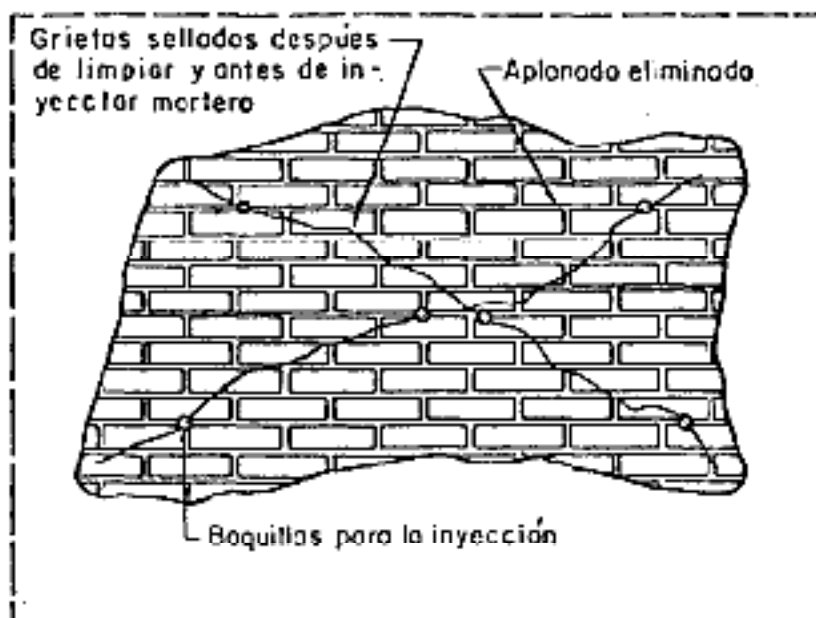


Fig. 7.2 Inyección de grietas en muros de mampostería (ref. 9)

7.2.2 Sustitución de materiales

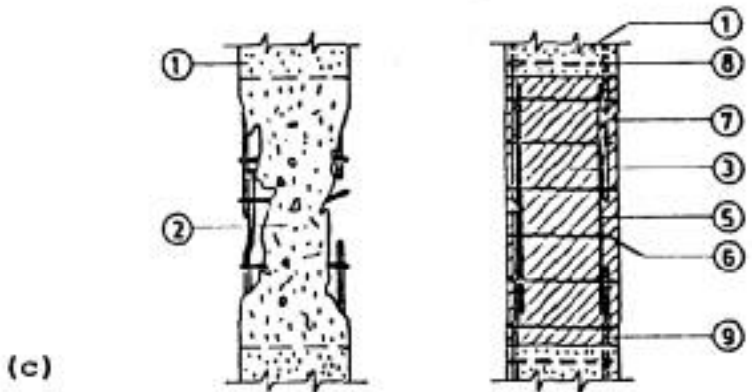
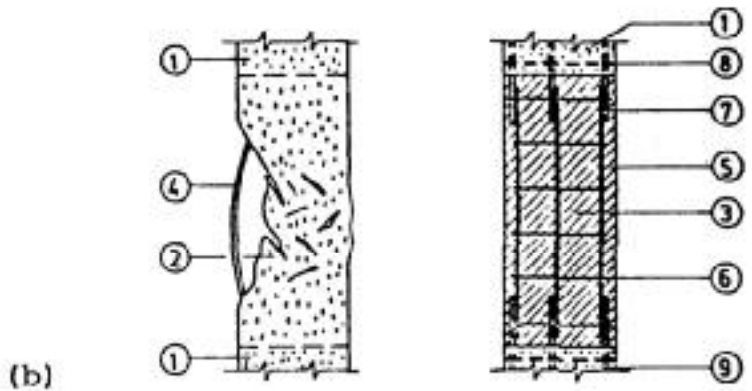
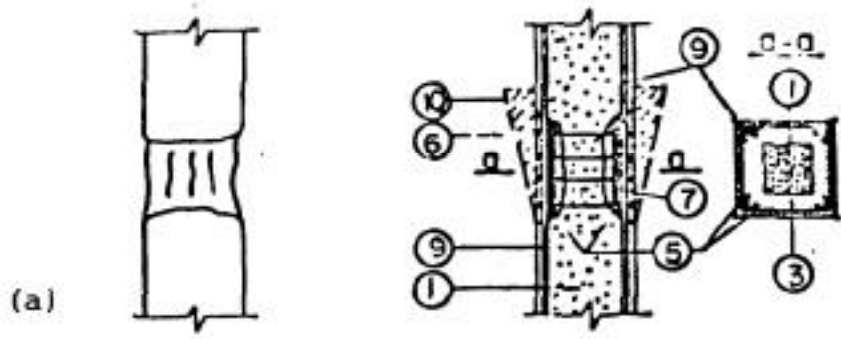
Esta técnica de restauración se recomienda cuando se tienen daños severos. Consiste en la reconstrucción del elemento, reemplazando los materiales dañados por otros en buen estado. Para lograr lo anterior, será indispensable liberar de carga al elemento en reparación mediante apuntalamiento.

La preparación de las superficies de unión entre los materiales viejos y los nuevos requiere de una limpieza previa mediante chorro de arena o en su defecto con cepillo de alambre y chorro de aire, a continuación de la cual, será necesaria la saturación con agua o la aplicación de lechada o de

algún adhesivo a base de resinas (refs. 1, 11, 15 y 26).

En elementos de concreto se recurre a este método cuando se ha producido el aplastamiento del concreto o el pandeo del refuerzo. Se deberá proceder a remover el concreto dañado dejando una superficie rugosa, y en caso de que se requiera, se sustituirán los tramos de refuerzo pandeados por otros en buen estado, mediante su traslape con el refuerzo viejo o con ayuda de soldadura o algún otro sistema de unión (refs. 1 y 11). En el colado se utilizará concreto con aditivos espesantes, procurando usar una cimbra holgada que facilite la colocación del concreto, aunque queden sobrantes que haya que recortar posteriormente (fig. 7.3a).

Las figuras 7.3 a 7.6 ilustran algunas aplicaciones de esta técnica en columnas, vigas, uniones y muros de concreto (refs. 73, 84, 87 y 95).



1. concreto original sano; 2. concreto dañado; 3. concreto nuevo;
 2. refuerzo original; 5. refuerzo nuevo; 6. estribos adicionales;
 7. soldadura; 8. estribos existentes; 9. refuerzo existente; 10. cimbra

Fig. 7.3 Sustitución de materiales en columnas (ref. 1)

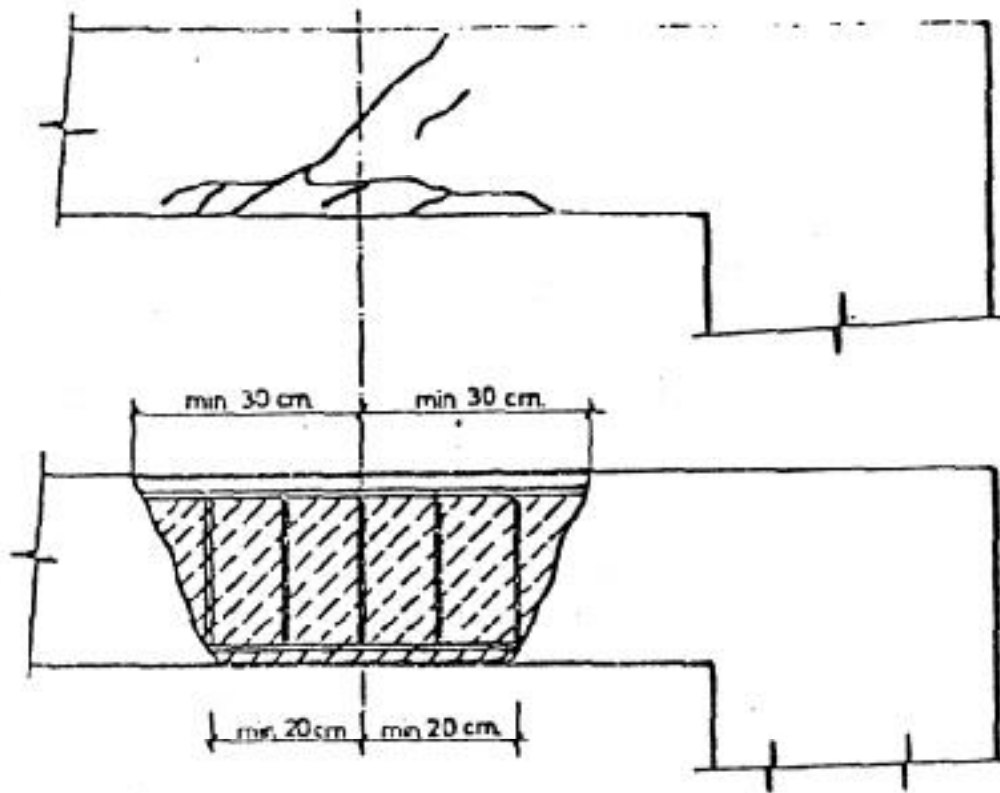


Fig. 7.4 Sustitución de materiales en vigas (ref.11)

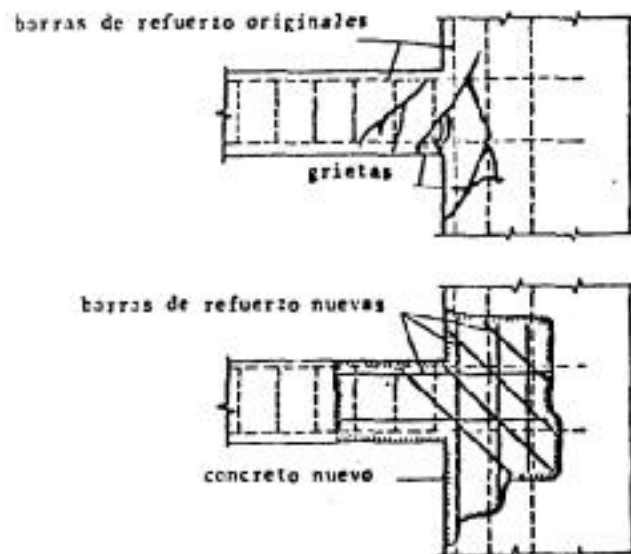


Fig. 7.5 Sustitución de materiales en uniones (ref.11)

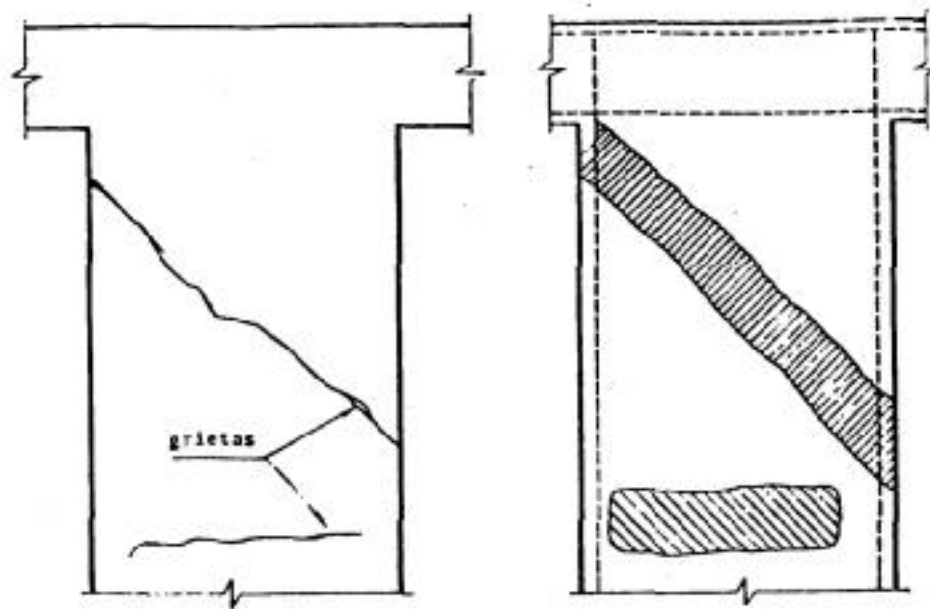


Fig. 7.6 Sustitución de materiales en muros de concreto (ref.11)

También en elementos de mampostería con grietas de más de 10 mm de ancho resulta recomendable proceder al reemplazo de las piezas dañadas usando un mortero rico en cemento. Una alternativa puede ser el sustituirlas por un castillo (ref. 1) (fig. 7.7).

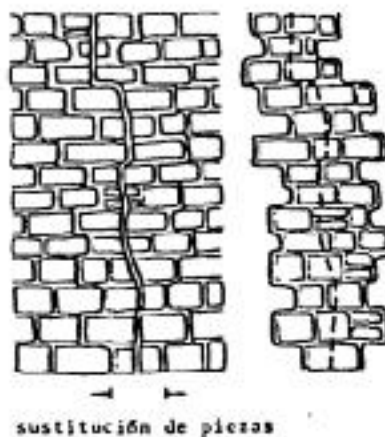


Fig. 7.7 Sustitución de materiales en muros de mampostería (ref. 1)

7.3 Refuerzo de columnas

7.3.1 Encamisado con concreto reforzado

Este procedimiento de refuerzo de columnas consiste en envolverlas con barras y estribos adicionales o malla electrosoldada y añadir un nuevo recubrimiento de concreto lanzado o colado in-situ. La superficie del elemento por reparar, además de prepararse como se indica en 7.2.2, deberá picarse para obtener suficiente rugosidad.

Si sólo se encamisa la columna en el entrepiso (fig. 7.8a) se obtiene un incremento en su resistencia ante carga axial y fuerza cortante, así como un comportamiento más dúctil, pero no se altera la resistencia a flexión original. Mejorar esta última implica extender el encamisado a través de la losa, prolongando el acero longitudinal por orificios que también faciliten el colado y añadiendo algunos estribos que atraviesen las almas de las vigas (ref. 1, 49, 50 y 113) (fig. 7.8b).

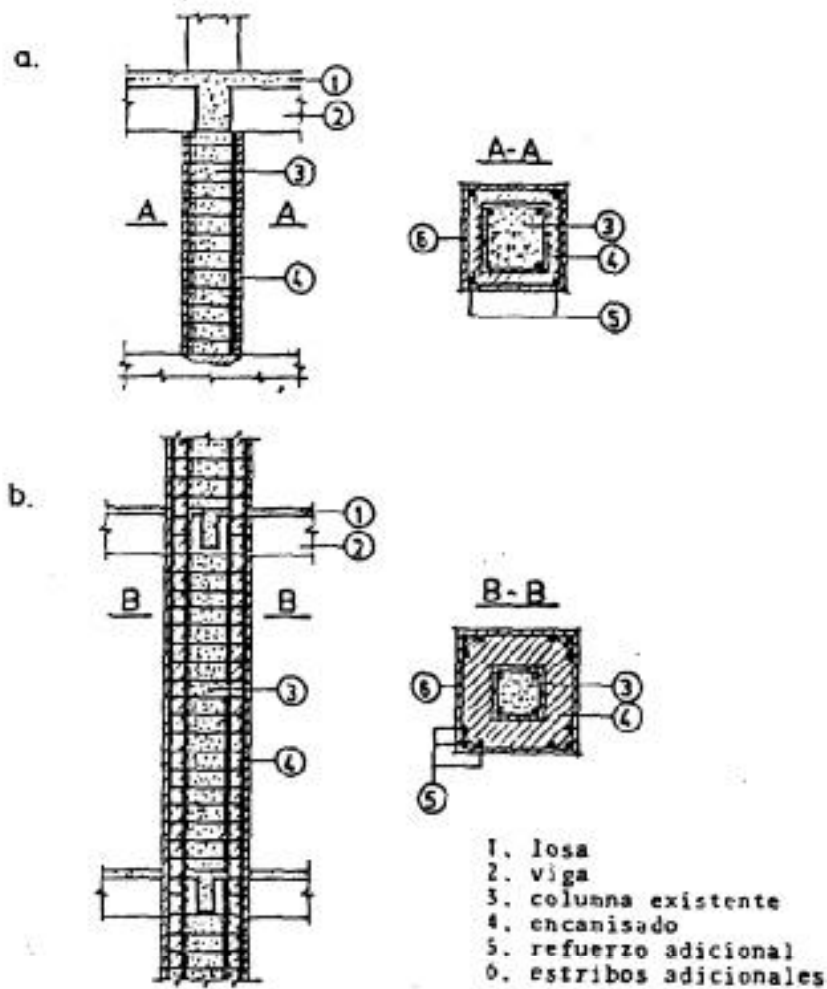


Fig. 7.8 Encamisado de columnas con concreto reforzado (ref. 1)

El encamisado más común es el que se efectúa todo alrededor de la columna. Si la columna es de sección rectangular el refuerzo se concentra cerca de las esquinas para permitir su confinamiento con estribos (fig. 7.9b), o bien se reparte de manera más uniforme uniendo el refuerzo nuevo al viejo mediante conectores soldados (ref. 1) (fig. 7.9a).

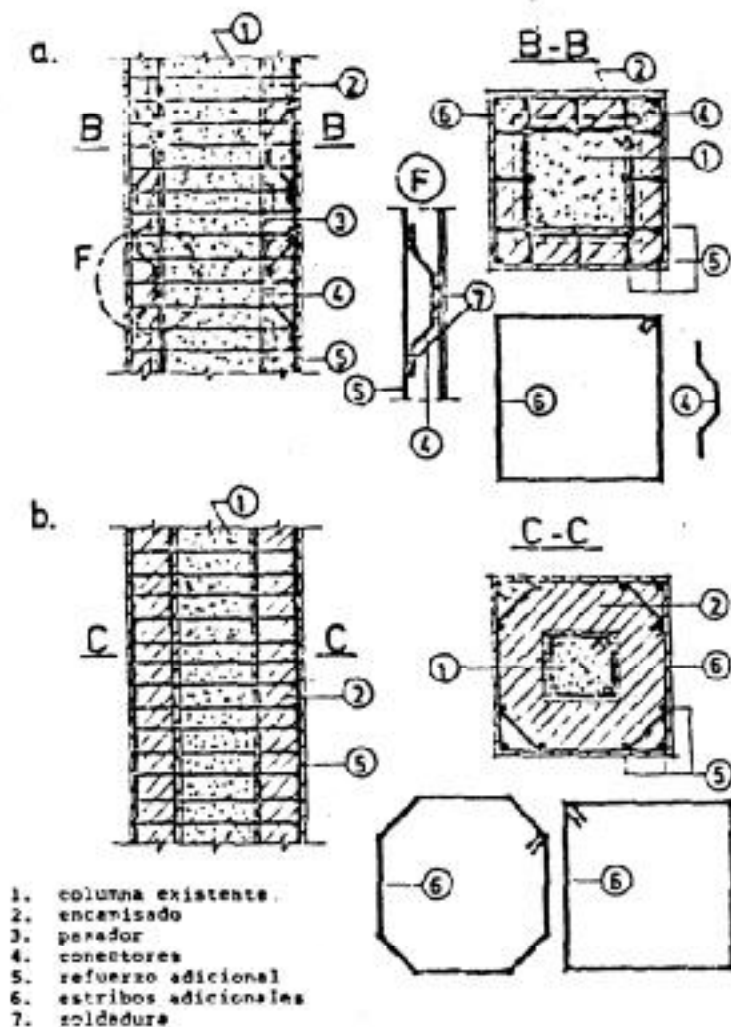


Fig. 7.9 Encamisado completo de columnas (ref. 1)

Cuando existen restricciones de espacio, es posible encamisar por 1, 2 o 3 lados únicamente. En tal caso se puede recurrir al uso de ganchos (fig. 7.10a), estribos soldados (fig. 7.10b) o conectores entre el refuerzo longitudinal (fig. 7.10c), para conseguir el monolitismo en el elemento (ref. 1).

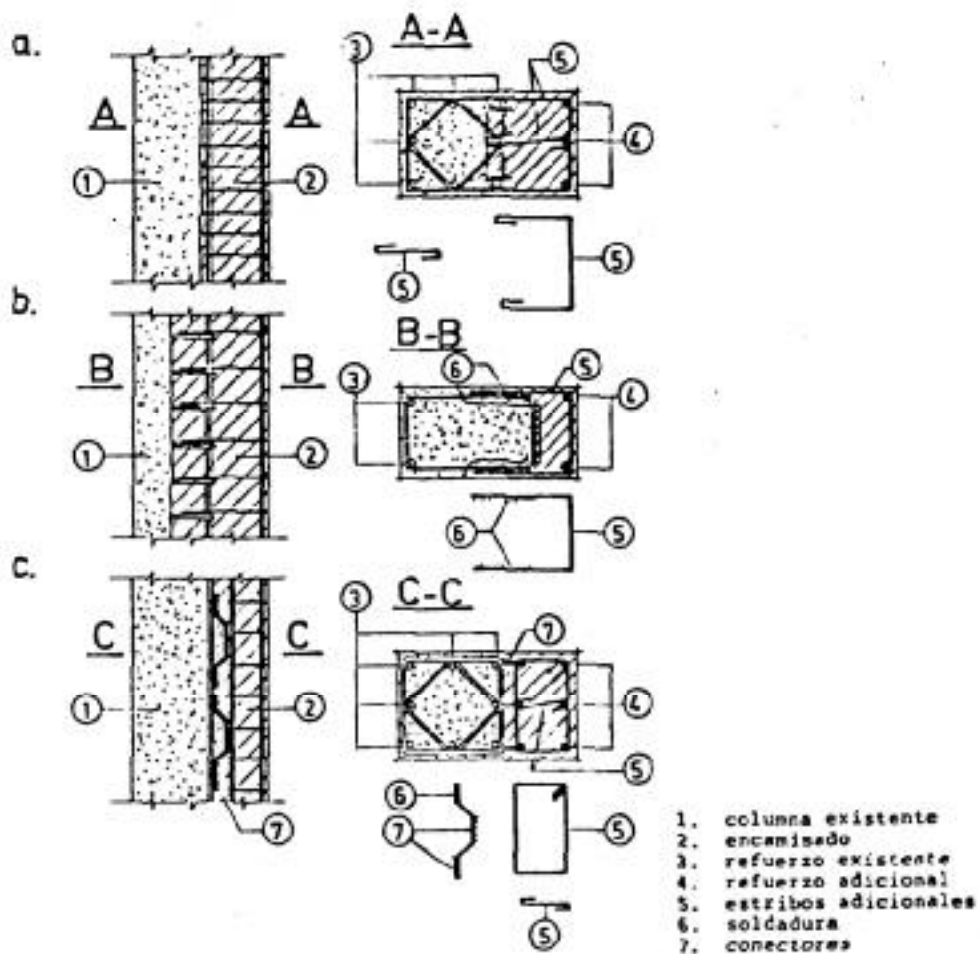
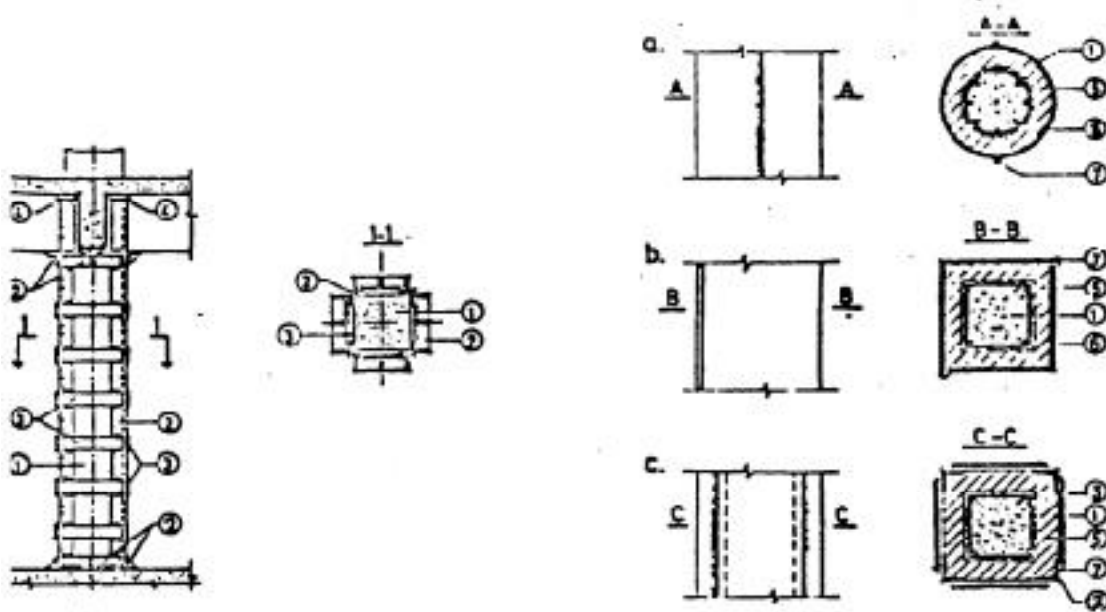


Fig. 7.10 Encamisado parcial de columnas con concreto reforzado (ref. 1)

7.3.2 Encamisado metálico

El encamisado metálico se puede efectuar mediante un esqueleto de perfiles unidos entre sí con soleras o varillas soldadas (fig. 7.11a), o bien, con el recubrimiento total de la columna a base de placas (ref. 1) (fig. 7.11b).



1. columna existente; 2. ángulos de acero; 3. placas de acero;
 4. placas de apoyo; 5. concreto nuevo o lechada;
 6. encamisado con placa; 7. soldadura

Fig. 7.11 Encamisado metálico de columnas
 (ref. 1)

En ambos casos se requiere especial atención para el diseño de la unión con las losas, que puede resolverse mediante un collar de ángulos (fig. 7.11a).

El espacio entre la camisa y la columna se debe rellenar con un mortero con aditivo expansivo o a base de resinas.

El recubrimiento final con concreto reforzado con alia electrosoldada, otorga cierta protección contra la corrosión y el fuego y constituye un buen acabado.

La dificultad de prolongar la camisa metálica a través de las losas, limita su efectividad a un mejoramiento de la resistencia a carga axial y fuerza cortante, así como de la ductilidad de la columna, sin modificar la resistencia a flexión en los extremos.

7.4 Refuerzo de vigas

7.4.1 Encamisado con concreto reforzado

De manera similar a lo descrito para columnas, también se pueden reforzar las vigas con un encamisado de concreto teniendo las mismas precauciones que en el caso mencionado. (refs. 49 y 50).

Si sólo se requiere reforzar la resistencia a flexión, se puede recurrir al encamisado de la cara inferior, usando conectores soldados para unir el nuevo refuerzo al viejo, así como estribos adicionales que también serán soldados a los originales. Para proporcionar el anclaje adecuado en los extremos, se puede recurrir a un collar de ángulos alrededor del extremo de la columna (ref. 1) (fig. 7.12).

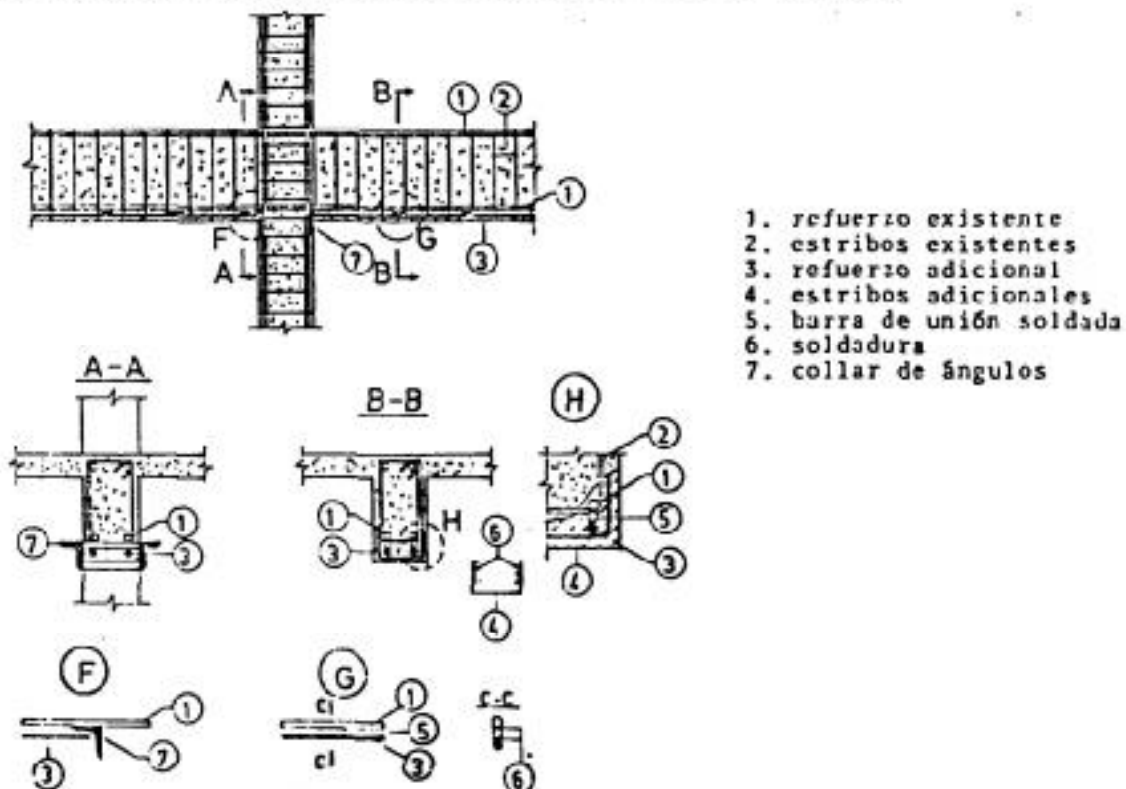


Fig. 7.12 Encamisado con concreto reforzado por flexión (ref. 1)

Cuando se requiere reforzar tanto para flexión como para cortante, el encamisado se puede efectuar en 3 caras (figs. 7.13a y 7.13b) o todo alrededor de las vigas (fig. 7.13c); en este último caso resulta factible añadir refuerzo por momento negativo. La perforación de la losa es necesaria tanto para pasar los estribos como para facilitar el colado (refs. 1 y 2).

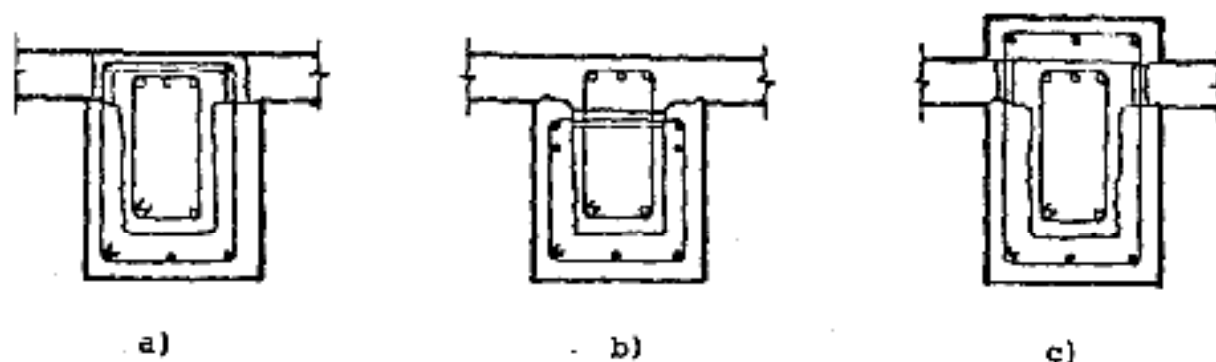


Fig. 7.13 Encamisado por flexión y cortante de vigas con concreto reforzado (ref. 1)

7.4.2 Encamisado metálico

Para el refuerzo de vigas por flexión o cortante, se puede hacer uso de placas metálicas adheridas con resinas epóxicas y conectores mecánicos a las caras del elemento (refs. 2 y 80).

Otra alternativa de refuerzo la constituye el em-

pleo de estribos postensados exteriores que aumenten la capacidad a cortante y la ductilidad de la viga (refs. 1 y 2) (fig. 7.14).

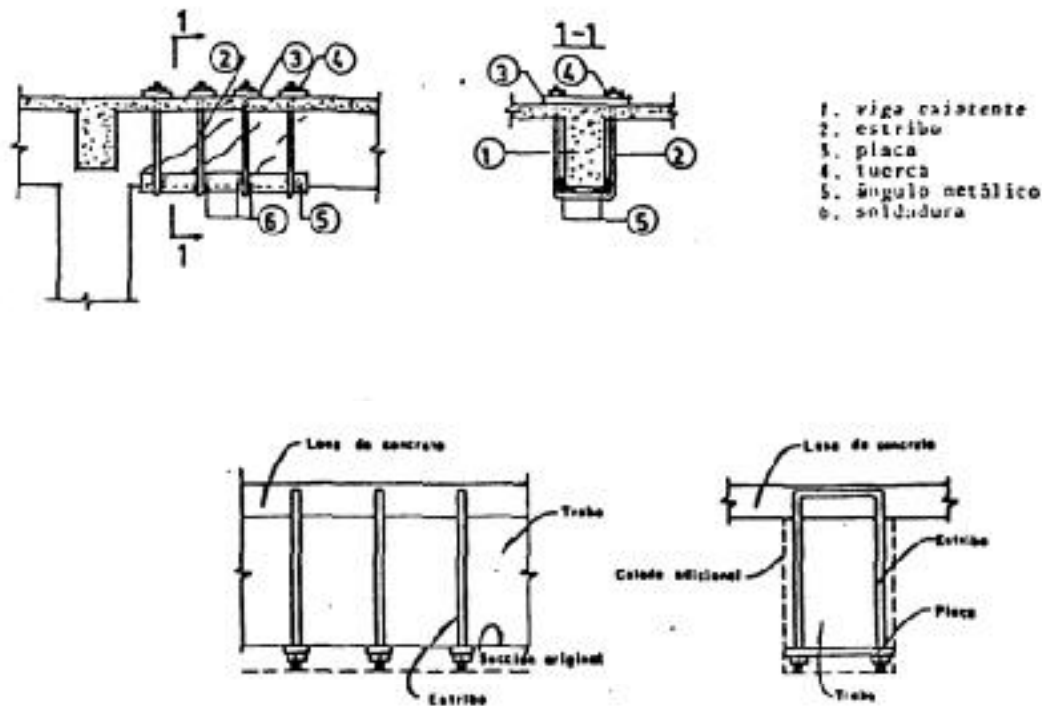


Fig. 7.14 Refuerzo de vigas con estribos postensados (refs. 1 y 2)

7.5 Refuerzo de uniones viga-columna

7.5.1 Encamisado con concreto reforzado

Con las mismas recomendaciones establecidas para el encamisado de columnas, se puede usar esta técnica en el refuerzo de las uniones viga-columna (ref. 1).

El encamisado se puede efectuar localmente en el nudo (fig. 7.15), o bien en combinación con el encamisado de vigas y columnas (fig. 7.16).

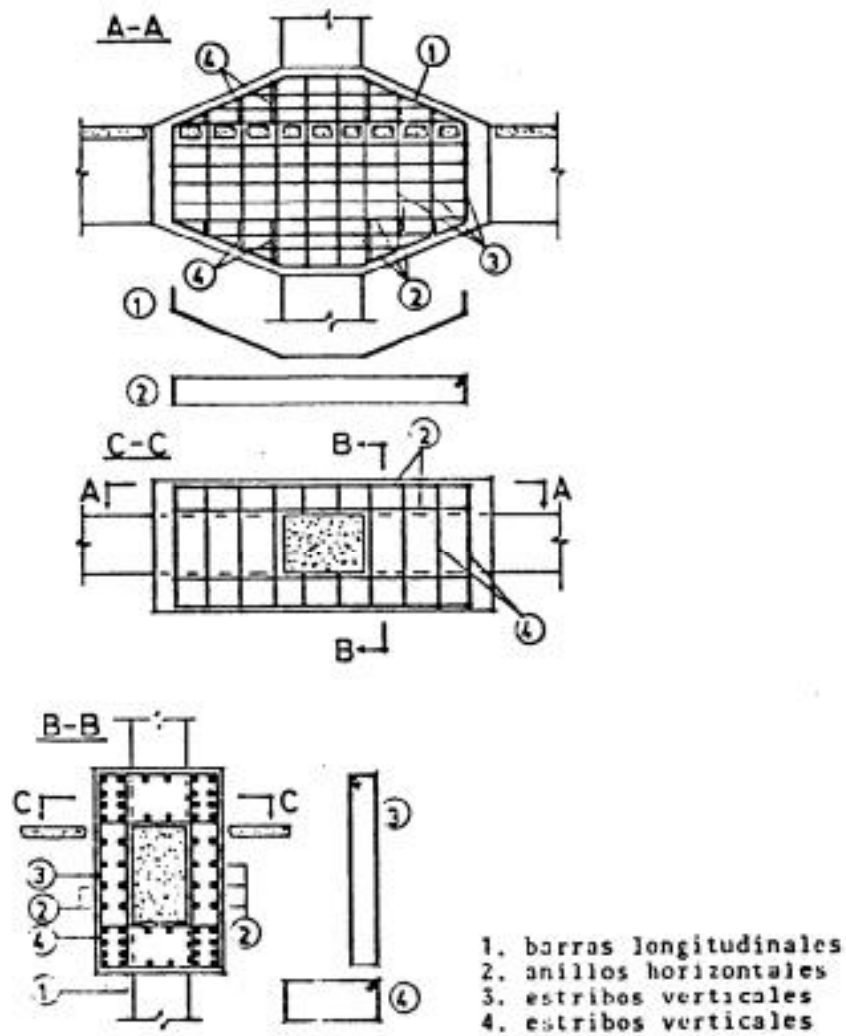


Fig. 7.15 Encamisado local de un nudo con concreto reforzado (ref. 1)

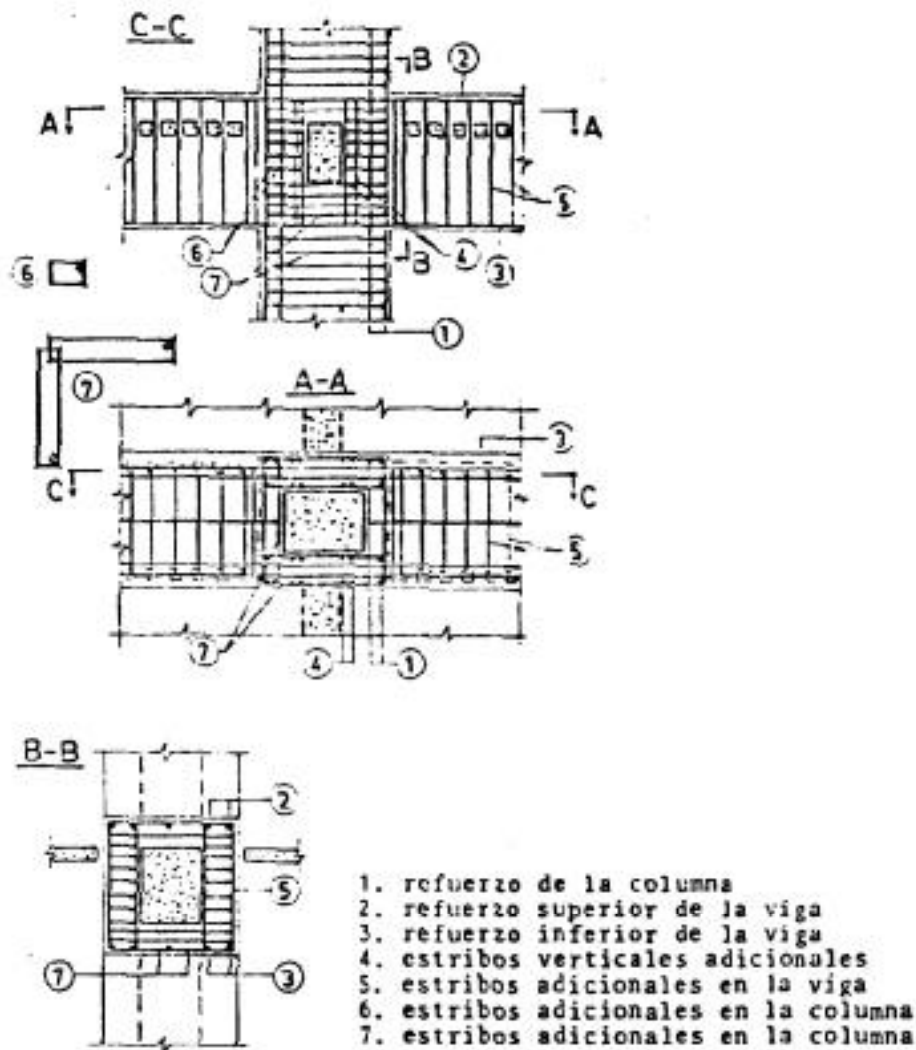


Fig. 7.16 Encamisado completo viga-columna-nudo (ref. 1)

7.5.2 Encamisado metálico

En estructuras con marcos en una sola dirección, como es el caso de algunos edificios industriales, es posible reforzar las uniones con placas metálicas adheridas con resinas epóxicas y conectores mecánicos (ref. 1) (fig. 7.17).

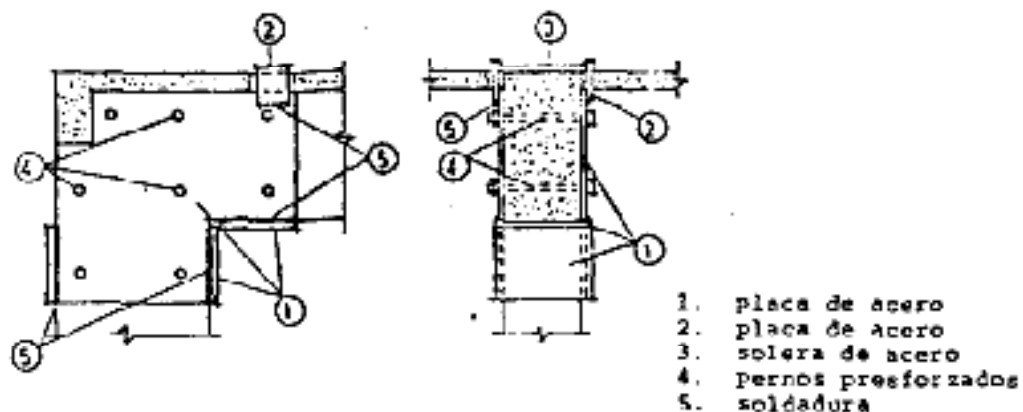


Fig. 7.17 Encamisado metálico de una unión viga-columna (ref. 1)

7.6 Refuerzo de muros de concreto

7.6.1 Incremento de secciones

El aumento en el espesor de un muro de concreto significa un incremento en su resistencia al corte. Si además se requiere reforzar su capacidad para resistir la flexión, se debe aumentar particularmente la sección de sus extremos, concentrando en ellos buena parte del refuerzo adicional (ref. 1) (fig. 7.18).

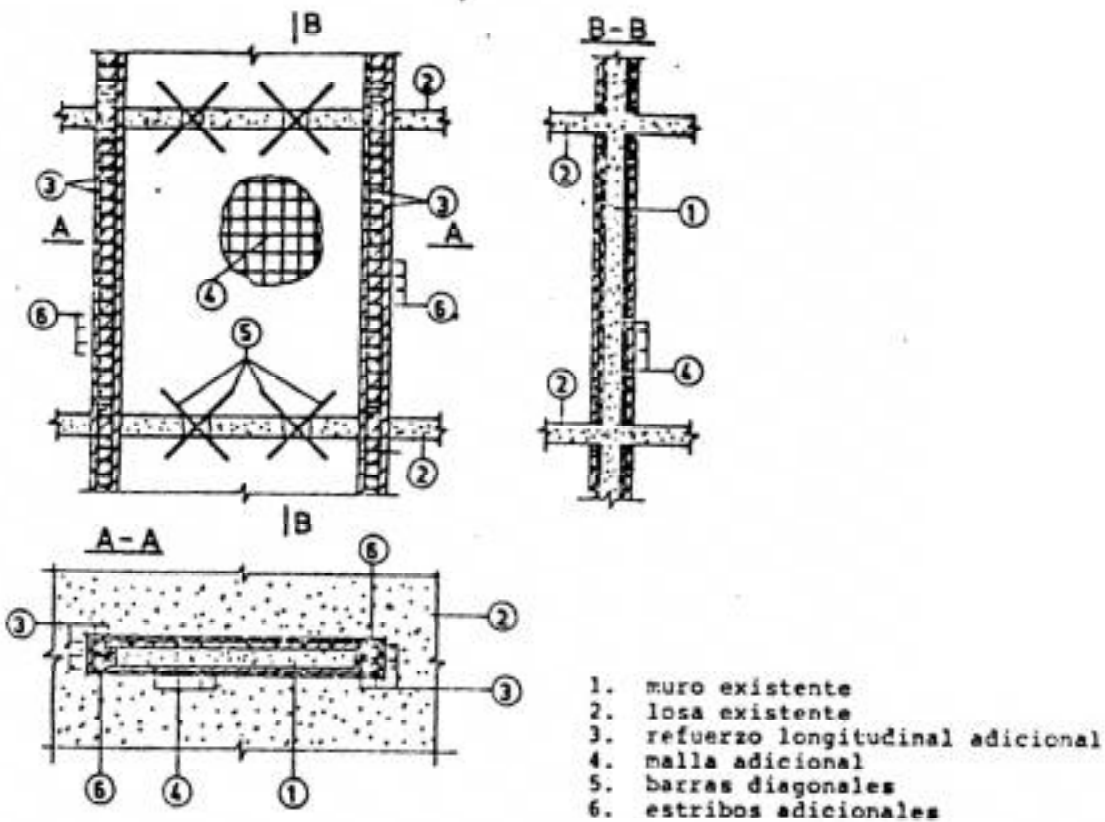


Fig. 7.19 Continuidad del Refuerzo en muros de concreto (ref. 1)

7.7 Refuerzo de muros de mampostería

7.7.1 Recubrimiento con mortero reforzado

Este tipo de refuerzo se efectúa recubriendo el muro con malla electrosoldada o malla de alambre y un aplanado de mortero. La malla deberá unirse al muro mediante conectores espaciados de 50 a 60 cm en ambas direcciones (refs. 1, 2, 10, 66, 67, 97 y 100).

Aunque se puede trabajar en una sola cara, los mejores resultados se obtienen cuando el recubrimiento se colo

ca en las dos y los conectores atraviesan el muro (fig. 7.20).

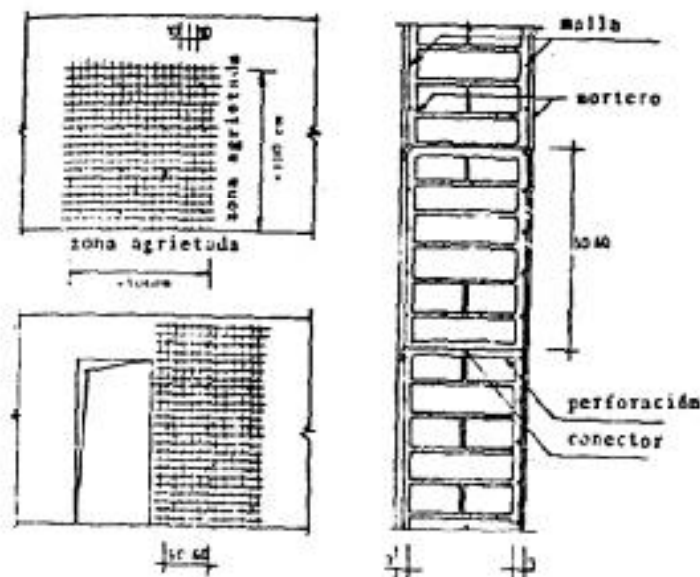


Fig. 7.20 Recubrimiento de muros de mampostería con mortero reforzado (ref. 1)

Para restaurar tan sólo la resistencia original en muros de tabique rojo o de tabicón, se puede recurrir a eliminar el aplanado original 0.5m a ambos lados de la zona agrietada y después de resanar las grietas, colocar una capa de malla de alambre de tejido rectangular unida al muro con taquetes, aplanando nuevamente con mortero de cemento.

7.7.2 Refuerzo de uniones

La mampostería sin confinamiento tiene la tendencia al volteo de sus muros por efecto del sismo, debido a la precaria unión entre ellos. La introducción de un sistema de liga constituye un buen refuerzo para este tipo de estructuras, cuyo representante más típico son las casas de adobe (ref. 83).

El uso de tirantes horizontales, además de servir de liga entre los elementos de la estructura contribuye a mejorar su resistencia al corte (fig. 7.21) (refs. 9 y 10). En este caso se pueden aprovechar las alternativas de soporte provisional del inciso 3.4.2.

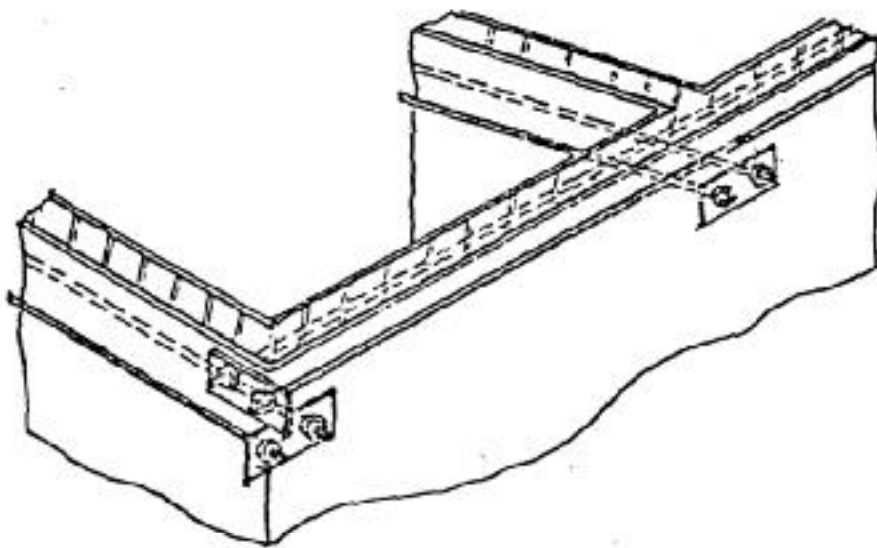


Fig. 7.21 Refuerzo con tirantes de muros de mampostería (ref. 9)

Otro procedimiento de refuerzo consiste en el uso de cadenas perimetrales de concreto (fig. 7.22a) o de madera, con o sin contrafuertes adicionales (refs.9 y 10) (fig. 7.22b).

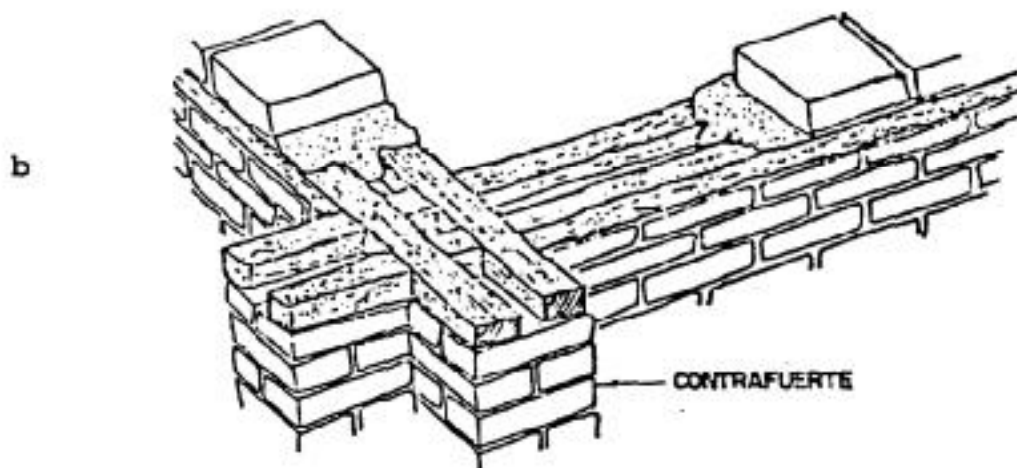
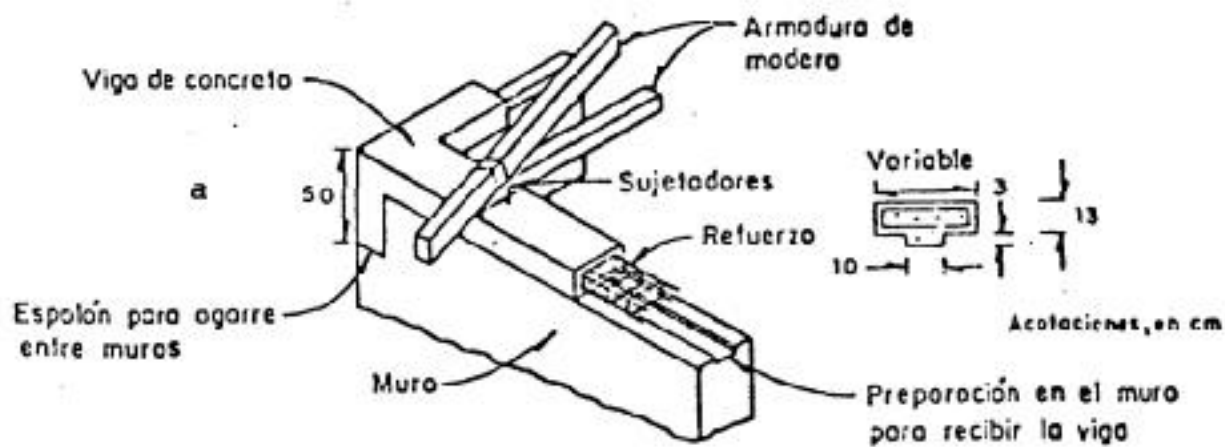


Fig. 7.22 Confinamiento de muros de mampostería con cadena perimetral (refs. 9 y 10)

En estructuras de mampostería con techos de armaduras de madera o acero, es posible reforzar la liga entre el techo y los muros para evitar su volteo, rigidizando el techo mediante contraventeo en su plano y reforzando su anclaje a los muros (fig. 7.23).

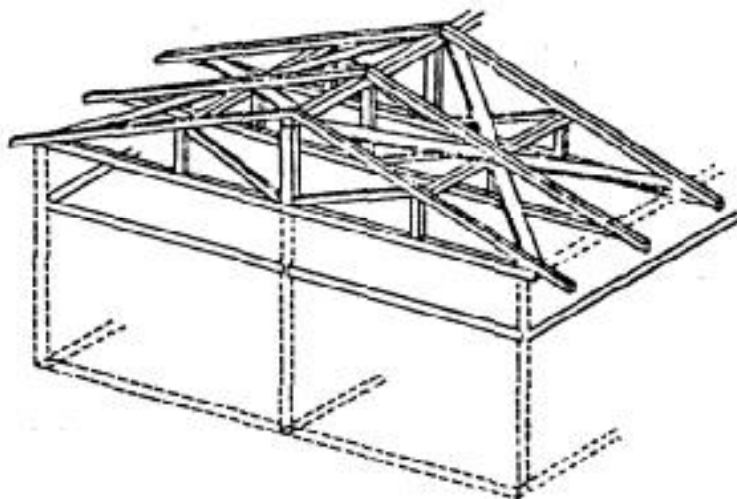


Fig. 7.23 Rigidización de techos de armaduras (ref. 9)

También se puede recurrir a fajas de mortero reforzado similares en su fabricación al recubrimiento descrito en el inciso anterior, cuidando de mantener la continuidad de la malla de alambre en las esquinas (ref. 9) (fig. 7.24).

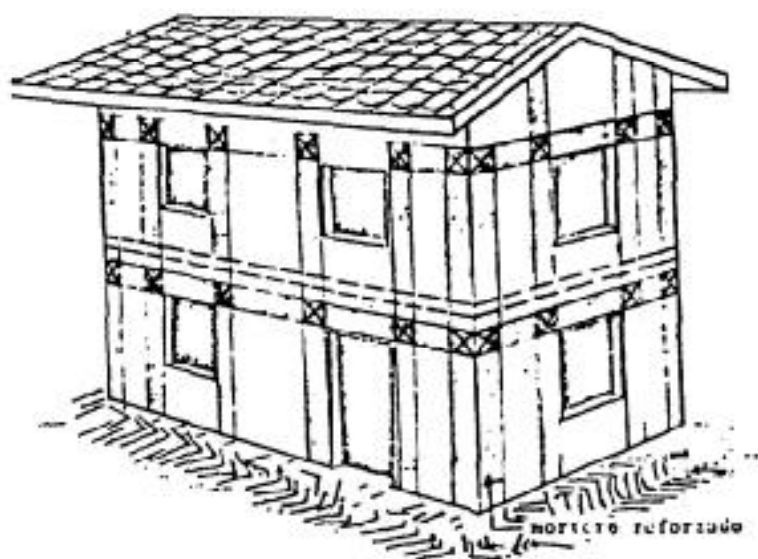


Fig. 7.24 Confinamiento de muros de mampostería con fajas de mortero reforzado (ref. 9)

B. RESTAURACION Y REFUERZO DE ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES

8.1 Consideraciones generales

Los elementos no estructurales están constituidos por el equipo y las instalaciones necesarias para el funcionamiento de la construcción, así como por los elementos arquitectónicos.

La reparación de estos elementos implica en la mayoría de los casos la restauración y el refuerzo de sí mismos y de sus uniones con la estructura, teniendo en cuenta su interacción con ésta última. Si se ha optado por desligar dichas uniones, de manera tal que el movimiento de la estructura no introduzca distorsiones en los elementos no estructurales, deberán restaurarse las juntas manteniendo holguras adecuadas a los desplazamientos esperados y además será necesario revisar la estabilidad de los elementos ante el sismo para restaurar y reforzar sus anclajes (ref. 16). Si por el contrario, la solución consiste en integrar los elementos no-estructurales a la estructura, estos deberán tenerse en cuenta para el análisis de la distribución de las fuerzas, de donde deberán obtenerse los elementos mecánicos para plantear su restauración y refuerzo (refs. 16, 28 y 29).

La gran diversidad de elementos no estructurales hace difícil detallar cada caso en particular. A continuación se presentan recomendaciones para los principales elementos

arquitectónicos.

8.2 Muros divisorios

El tipo más común de elementos divisorios en nuestro medio lo constituyen los muros de mampostería; estos en general son elementos muy rígidos, que tienden a trabajar estructuralmente absorbiendo buena parte de las fuerzas sísmicas cuando se encuentran ligados a la estructura; sin embargo, son también muy frágiles y sufren daños ante deformaciones pequeñas. Por esta razón, no conviene integrarlos a la estructura, a menos que también ella sea muy rígida (marcos robustos de poca altura o estructuras a base de muros de concreto). Debe tenerse especial cuidado en evitar ligar a la estructura muros que no cubran toda la altura y que propicien la falla de las columnas como "columnas cortas" (ref. 16). Asimismo, debe evitarse que la ubicación de los muros que si se ligan origine excentricidades importantes, como es el caso con los muros de colindancia en edificios en esquina.

Si el daño ocurrió en el muro, se puede recurrir a las mismas técnicas de restauración y refuerzo descritas en el capítulo 7. Si el problema se presentó en la unión con la estructura en muros desligados, o bien, el criterio de reparación exige el desligue de algunos muros, debe proporcionarse una separación mínima de 2 cm (ref. 16) respecto a las columnas y a la losa superior, cuidando de garantizar la estabilidad del muro contra el volteo. Las holguras en los extremos

de los muros se deben rellenar con algún material flexible y aislante como la espuma de poliestireno o el celotex.

Algunas alternativas para desligar los muros de la estructura se muestra en las figuras 8.1 y 8.2.

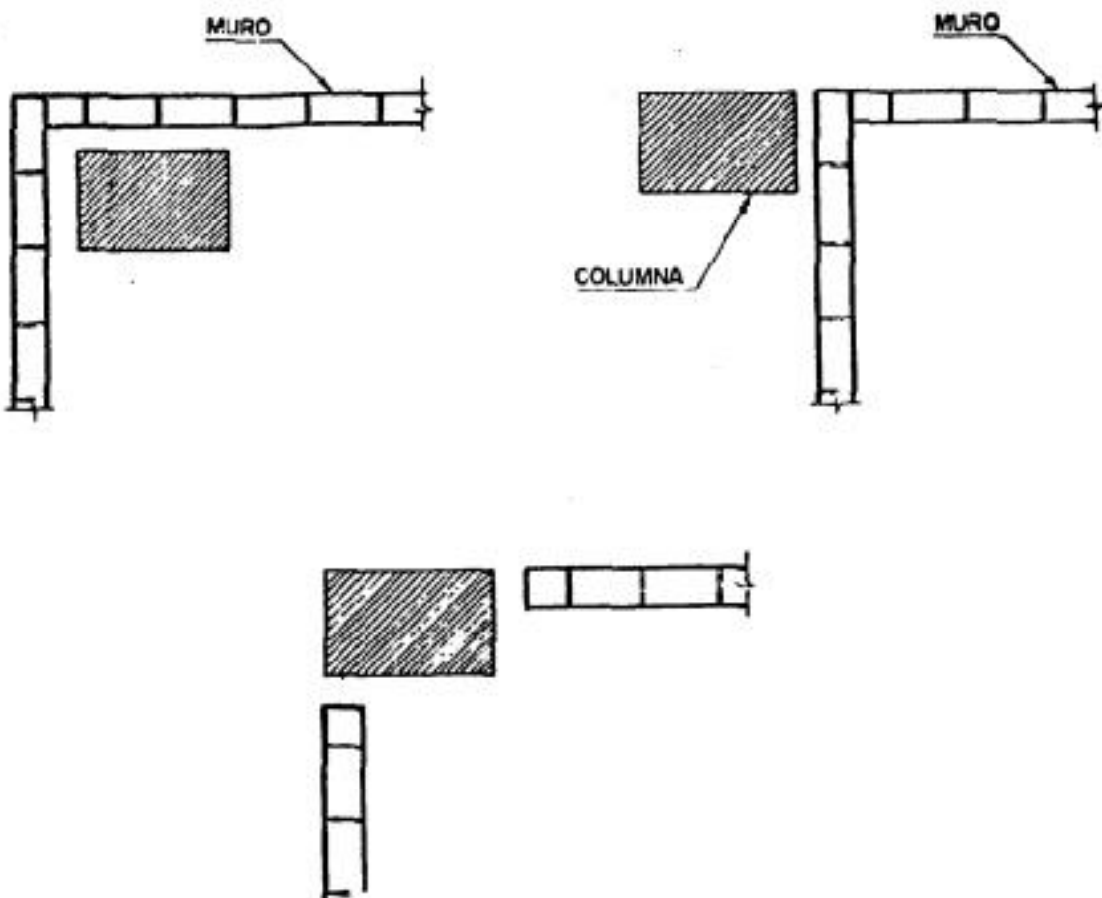


Fig.8.1 Alternativas para desligar los muros de la estructura en planta (ref. 16)

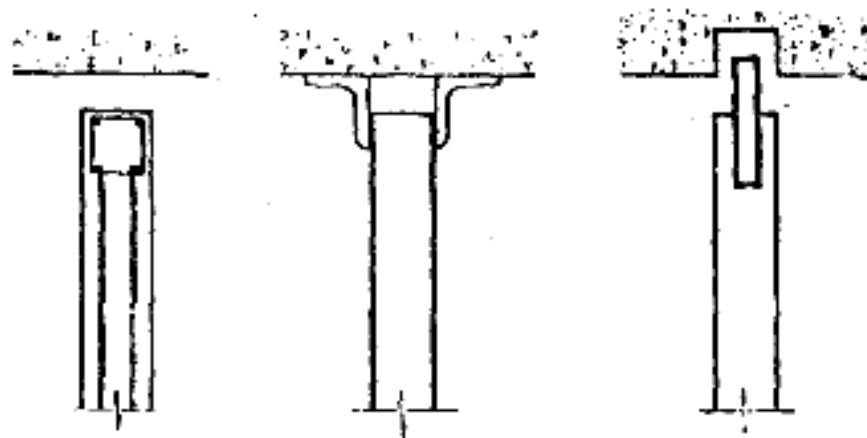


Fig. 8.2 Alternativas para desligar los muros de la estructura en elevación (ref. 16)

Cuando los elementos divisorios son productos comerciales del tipo de los constituidos por un armazón de madera o metálico con recubrimientos de madera o yeso, se tienen muros más flexibles, que de todas formas conviene desligar de la estructura mediante detalles que dependen de cada producto en particular.

8.3 Recubrimientos

Los recubrimientos pétreos dañados, deberán ser reemplazados cuidando de proporcionar algún anclaje mecánico con la estructura.

En el caso de recubrimientos prefabricados, además de detallar los anclajes, será necesario proveer las holguras necesarias entre ellos para evitar que los afecten los movimientos laterales de la construcción (ref. 16). Deberá tener-

se en cuenta que dependiendo del tipo de anclaje, estos elementos pueden introducir modificaciones importantes en la rigidez de la estructura.

8.4 Ventanas

Para la reparación de la ventanería, además de sustituir los vidrios rotos, debe verificarse que exista una holgura entre los marcos de las ventanas y la estructura o entre ellos y los vidrios. Esta holgura debe rellenarse con un sellador que permanezca flexible con el tiempo.

Se recomienda que la holgura mínima sea (ref. 16):

$$c = \frac{\psi b}{2(1 + b/h)}$$

donde c es la holgura mínima (cm), ψ es la distorsión de entrepiso admisible (refs. 16, 28 y 29) y b y h son el ancho y el alto del vidrio (cm).

8.5 Plafones

La reparación de plafones implica: reemplazar las piezas dañadas; restaurar y reforzar los anclajes al techo incluyendo contraventeo para evitar el balanceo, y garantizar una holgura perimetral que evite la interacción con la estructura (refs. 16, 28 y 29).

9. SUPERVISION Y VERIFICACION DE LA REPARACION

9.1 Objetivos

La reparación de una estructura implica el empleo de materiales, técnicas y soluciones estructurales poco comunes en la práctica cotidiana. Por esta causa, resulta necesario implantar procedimientos de supervisión, tanto al nivel del proyecto como de la construcción, cuyo objetivo sea la correcta ejecución de un trabajo muy especializado.

9.2 Supervisión del proyecto

Es conveniente que los grupos de diseño recurran a la asesoría y supervisión de ingenieros independientes, para proyectos de la importancia que puede tener la reparación de una estructura. En una primera etapa, esta relación puede establecerse a través del estudio de las alternativas de solución, posteriormente, el supervisor deberá revisar los criterios de diseño, comprobar la exactitud de los cálculos y verificar que los planos y las especificaciones transmitan la solución de manera clara y precisa al constructor.

9.3 Supervisión de la construcción

La supervisión del proceso constructivo por personal independiente del contratista es un procedimiento comúnmente aceptado. La principal diferencia que presenta la supervisión de una obra de reparación respecto a una construcción nue

va, estriba en el manejo de materiales novedosos como el concreto lanzado y las resinas, y en la necesidad de adaptar las soluciones del proyecto a las condiciones ya existentes en la estructura, manteniendo un control riguroso de la ejecución de todos los detalles.

La supervisión de calidad en el concreto lanzado, requiere de la inspección continua de los materiales, el equipo y el procedimiento de aplicación. Debe intentarse detectar huecos a golpe de martillo y apoyar la supervisión con la prueba de paneles de muestra y con la extracción de corazones (refs. 1, 34 y 109).

El control de calidad para el uso de resinas implica la supervisión del proporcionamiento y del procedimiento de mezclado de los componentes, así como la inspección del proceso de aplicación, cuidando que ésta se lleve a cabo en el tiempo especificado a partir de la mezcla. La extracción y prueba de corazones en grietas inyectadas con resinas, permite verificar la calidad de la inyección y la del comportamiento de la resina (refs. 1 y 34). También puede usarse para este objetivo el análisis con ultrasonido del elemento reparado (ref. 45).

9.4 Verificación de la reparación

Las pruebas de carga como método de verificación de la eficiencia de la reparación, se encuentran limitadas por las posibilidades de aplicar cargas laterales, pues no es posible evaluar la capacidad resistente ante sismo de una estructu

tura a partir de una prueba de carga vertical.

Una buena alternativa consiste en la medición del período fundamental de la estructura antes y después de la reparación. Si ésta se ha efectuado con éxito, el aumento en la rigidez de la estructura se debe reflejar en una disminución del período, que debe coincidir en su valor con el obtenido del modelo dinámico usado para el análisis de dicha reparación. La determinación del período se deriva del análisis de las vibraciones de la estructura debidas al ruido ambiental, a la imposición de condiciones iniciales de deformación o velocidad, o a un equipo excitador. Usualmente, se colocan los sensores en los ejes principales del edificio y se efectúan las mediciones en dos direcciones ortogonales y en varios niveles intermedios (refs. 1, 2, 4, 6, 11, 27 y 69).

REFERENCIAS

1. "Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, Stone and Brick-Masonry Buildings". Proc. Building Construction Under Seismic Conditions in the Balkan Region, Vol. 5, United Nations Development Programme, Vienna 1983.
2. Hernández B, O. "Procedimientos de Reparación de Estructuras Dañadas por Sismo" (primera etapa). Departamento del Distrito Federal. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. México, D.F., Abril 1981.
3. Pinkham, C.W, y Hart, G.C. "A Methodology for Seismic Evaluation of Existing Multistory Residential Buildings". Department of Housing and Urban Development. Office of Policy Development & Research. Junio 1977.
4. Hirose, M. et al. "Analysis on Damage of the Kurayoshi Higashi City Office Building During the Tottori Earthquake of 1983". Building Research Institute, Japón, Diciembre 1984.
5. Hirose, M. et al. "Analysis on Damage of the Namioka Town Hospital Building During the 1983 Nihonkai-Chubu Earthquake and Retrofit Design of the Building". Building Research Institute, Japón, Agosto 1985.
6. Loera, S. "Manual para Evaluar Daños Causados por Sismos en Edificios de Concreto Reforzado", Departamento del Distrito Federal, México, Marzo 1982.
7. Mendoza, C.J. "Manual para Evaluar Daños causados por Sismos en Estructuras de Mampostería". Departamento del Distrito Federal, México, Mayo 1982.
8. Petrovski, J. "Metodología y Procedimientos para la Evaluación de Daños Producidos por Terremotos". Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Yugoslavia, 1983.
9. "Basic Concepts of Seismic Codes", Vol. I. The International Association for Earthquake Engineering, Japón, 1980.
10. Mendoza, C.J. y Montero C., M. "Reparación de Estructuras de Mampostería Dañadas por Sismo". Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, México, Febrero 1982.
11. "Repair of Buildings Damaged by Earthquakes". Department of Economic and Social Affairs. United Nations. New York, 1977.

Robles F. V., F. y González R., R. "Aspectos Fundamentales del Diseño de Estructuras de Madera", 1a. edición. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, México, 1985.

Ratay, R. T. "Handbook of Temporary Structures in Construction". McGraw-Hill Book Company, U.S.A., 1984.

Fernández Cánovas, M. "Las Resinas Epoxi en la Construcción" Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, Madrid, 1974.

"Concrete Manual" U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Washington, D.C., 1975.

Eazan Z., E. y Meli P., R., "Manual de Diseño Sísmico de Edificios". 1a. edición. Ed. Limusa, México, 1985.

Neville, A.M. "Properties of Concrete". 2a. edición. Pitman Publishing, Londres 1973.

"ACI Manual of Concrete Inspection". SP-2. 6a. edición, American Concrete Institute. Detroit 1975.

Okada, T. "Standard for Evaluation of Seismic Capacity of Existing Reinforced Concrete Building". Japan Building Disaster Prevention Association, Tokyo, 1977.

"A Guide for the Use of Expoxide Resins with Concrete for Building and Civil Engineering". Advisory Note, No. 12. British Plastics Federation, Cement and Concrete Association, Londres.

Jaber, M. M. et al. "Repair of Concrete with Polymers". Center for Highway Research the University of Texas at Austin, U.S.A., Febrero, 1975.

Van Vlack, L. H. "Materials for Engineering" Addison-Wesley Publishing Company, Inc. U.S.A. 1982.

Zbigniew, D.J. "Naturaleza y Propiedades de los Materiales para Ingeniería". 2a. edición. Nueva Editorial Interamericana, México, 1979.

"Special Concretes, Mortars and Products. Portland Cement Association". John Wiley & Sons, Inc. U.S.A. 1980.

Allen, R.T.L. "The Repair of Concrete Structures". Cement and Concrete Association. London 1974.

Fulton, F. S. "Defects and Repairs". Cement and Concrete. Johannesbrug 1971.

27. "Bulletin D' Information. No. 162". Comité Euro-Internacional Du Beton. Paris, Agosto 1983.
28. "Normas de Emergencia en Materia de Construcción para el Distrito Federal" Diario Oficial, Tomo CCCXCII, No. 34, México, D.F., 18 de Octubre de 1985.
29. "Requisitos de Seguridad y Servicio para las Estructuras. Título IV del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". Instituto de Ingeniería. UNAM. México, Julio 1977.
30. "Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". Instituto de Ingeniería UNAM. México, Julio 1977.
31. "Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". Instituto de Ingeniería UNAM. México, Julio 1977.
32. Dávalos R. "Diseño de Estructuras en Madera". Norma Técnica 1. Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Biológicos. Xalapa, Ver., Diciembre 1984.
33. "Formas para la Inspección de Estructuras Dañadas por Sismo": Universidad Autónoma Metropolitana -Azcapotzalco; Colegio de Ingenieros Civiles de México; Departamento del Distrito Federal (2 versiones); SEDUE; Delegación Cuauhtémoc; Bufete Industrial.
34. "Obtención y Prueba de Corazones y Vigas Extraídos de Concreto Endurecido" (NOM-C169-1978). Norma Oficial Mexicana. México, 1978.
35. "Concreto Endurecido. - Determinación del Índice de Rebote" (NOM-C-192-1979). Norma Oficial Mexicana, México, 1979.
36. "Industria de la Construcción. - Concreto Endurecido. - Determinación de la Resistencia a la Penetración" (NOM-C-301-1980). Norma Oficial Mexicana, México, 1980.
37. "Industria de la Construcción. Sistemas de Adhesivos a Base de Resinas Epóxicas para Concreto" (NOM-C-302-1985). Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana, México, 1985.
38. "Epoxy-Resin-base bonding systems for Concrete". (ASTM-C-881-78). American Society for Testing and Materials, Filadelfia, 1978.

"El Cable de Acero. Especificaciones". Cables Mexicanos, S.A. México.

"Lista de Publicidad sobre Resinas": Sika Mexicana, S.A.; Especialidades Epóxicas e Industriales, S.A.; Duro Rock, S.A.; Poldi, S.A.; Fester de México; Adicionantes para Concreto, S.A.

"Lista de Publicidad sobre Polímeros": Sika Mexicana, S.A.; Poldi, S.A.; Fester de México; Química Hoechst de México, S.A.

"Lista de Publicidad sobre Aditivos y Adhesivos para Concreto": Fester de México; Sika Mexicana, S.A.; Poldi, S.A.; Duro Rock, S.A.

"Lista de Distribuidores de Andamios Tubulares en México" México.

"Manual de Operaciones y Aplicaciones para R-METER (JAMES C-4956)".

"Concrete Catalog" Soiltest, Inc., Evaston, Ill. U.S.A. 1976.

"The Windsor Probe Test System. Instruction Manual" Densicon, Inc. Elmwood, Conn., U.S.A.

"Sistema de Pruebas de Concreto por Medio de la Sonda de Windsor". Windsor Probe Test Systems, Inc., Elmwood, Conn. U.S.A.

Ripoll, J. "Reparación de Estructuras Fisuradas. Pretensado. Resinas Epoxi". Hormigón y Acero No. 112, 3er. Trimestre de 1974. España.

Guerrero V., G. "Reparación y Refuerzo de Edificios Dañados por el Sismo del 3 de Mayo de 1965 en la Ciudad de San Salvador, El Salvador" Ingeniería UNAM, Vol. XXXVI, No. 1, México, Enero 1966.

Falcon, B. "Reparación de Estructuras de Concreto". Proc. Simposio Internacional sobre Tecnología del Concreto. Monterrey, 1977.

Vié, G. "Interesantes Aplicaciones de las Resinas Sintéticas en Obras de Ingeniería Civil". Informes de la Construcción, Año XXIII, España, Diciembre 1970.

"Tratamiento de las Fisuras del Hormigón con Inyección de Resinas". Informes de la Construcción, Año XXVI, No. 252, España, Julio de 1973.

53. Gaul, R.W. et al. "Effective and Practical Structural Repair of Cracked Concrete". Proc. SP-21. American Concrete Institute. Detroit, 1968.
54. "Buildings Damaged in Earthquake" Civil Engineering, Vol. 43 No. 10, U.S.A. Octubre 1973.
55. Gallegos, H. y Ríos, R. "Earthquake-Repair-Earthquake". Proc. SP53-18. American Concrete Institute, Detroit.
56. Okamoto, S. et al. "Testing, Repair and Strengthening and Retesting of a Full Scale Seven Story Reinforced Concrete Building" Proc. SP84-6 American Concrete Institute. Detroit.
57. Nene, R.L. "Repairs and Restoration of Reinforced Concrete Columns" Proc. SP85-12. American Concrete Institute, Detroit.
58. Berger, R. "Reparación en Planta de Tubos de Concreto". Modern Concrete, Vol. 42, No. 5, U.S.A. Septiembre 1978.
59. Anderson, A. H. Jr. "Mantenimiento Adecuado para Evitar Deterioros en Edificios de Concreto" Concrete International Vol. 2, No. 9, U.S.A., Septiembre 1980.
60. Tabor, L.J. "Reparaciones del Concreto". Precast Concrete, Vol. 10, No. 2, Londres, Febrero 1979.
61. Warner, J. "Epoxyes-"Miracle"-Materials don't Always Give Miracle Results". Civil Engineering, Vol. 48, No. 2. U.S.A. Febrero 1978.
62. McKenzie, G.H.F., et al. "Guidelines and Procedures for Strengthening of Buildings" Procc. 8 WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
63. Yeo, J.T.P., "Computer-Based Assesment of Seismic Damage" Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A., 1984.
64. Wyllie, L. A. Jr. y Olson, R.D. "Establishing Priorities and Financing for Seismic Strengthening of Existing Buildings in California". Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
65. Zezhen, N. et al. "A Study of Aseismic Strengthening for Multistory Brick Buildings by Additional R/C Columns" Proc. 8WCEE Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
66. Kahn, L. F. "Shotcrete Retrofit for Unreinforced Brick Masonry" Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
67. Hutchison, D.L. et al. "Laboratory Testing of a Variety of Strengthening Solutions for Brick Mansonry Wall Panels". Proc. 8WCEE, Vol 1, San Francisco, E.U.A., 1984.

8. Giangreco, E. et al. "Stress Analysis and Strengthening Techniques of Masonry Buildings" Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
9. Takaki, M. y Ikeda, A. "Evaluation & Strengthening of a Existing Reinforced Concrete School Building" Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
10. Kawabata, S. et al. "A Case Study of Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings in Shizuka Prefecture, Japan", Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
11. Bolong, Z. y Xilin, L. "Earthquake Damage Analysis and Strengthening of the Main Building 311" Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
12. Freeland, G.E. y Sethi M. "Seismic Upgrade of Building 311". Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
13. Lakshmiathy, M. et al. "Repair of Structures Damaged During Earthquakes Using Fibrous Concrete". Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
14. Norman Owen, G., et al. "Vibration Testing of an Epoxy-Repaired Fullscale Reinforced Concrete Structure". Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
15. Endo, T. et al. "Practice of Seismic Retrofit of Existing Concrete Structures in Japan" Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
16. Aoyama, H. et al. "Strength and Behavior of Postcast Shear Walls for Strengthening of Existing Reinforced Concrete Building". Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
17. Higashi, Y. et al. "Experimental Studies on Retrofitting of Reinforced Concrete Building Frames" Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.
18. Liangduo, Z. y Xiangqian, N. "Experimental Study and Analysis of Earthquake Damage of R/C Frame Buildings with Exterior Brick Bearing Walls Their Strengthening". Proc. 8WCEE, San Francisco, E.U.A. 1984.
19. Yüzügüllü, O. "Bolted Connections for Precast R.C. Panels Used for Repair and/or Strengthening" Proc. 8WCEE, Vol. 1 San Francisco, E.U.A., 1984.
20. Van Gemert, D.A. "Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Plates by Epoxy-Bonded Steel Plates" Proc. 8WCEE Vol. 1, San Francisco, E.U.A. 1984.

81. Gavarini, C. y Angeletti, P. "Assessing Seismic Vulnerability in View of Developing Cost/Benefit Ratios for Existing R.C. Buildings in Italy" Proc. 8WCEE Vol. 1, San Francisco, E.U.A., 1984.
82. Syrmakezis, C.A. y Voyatzis, E.D. "Dynamic Response of Damaged Repaired-Strengthened Plane of Space Structures" Proc. 8WCEE, Vol. 1, San Francisco, E.U.A., 1984.
83. Vargas-Neumann, J. "Adobe Construction Basis for a Seismic Resistant Code" Proc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul Turquia, Septiembre 1980.
84. Augusti, G. et al. "Rehabilitation of Damaged Reinforced Concrete Elements an Experimental Investigation". Proc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul, Turquia, Septiembre 1980.
85. Avramidov Maio, N. y Fei, Cirano. "An Investigation of Mechanical Behavior Repaired R.C. Frames Under Severe Repeated Loads" Proc. 7WCEE. Vol. 4, Estambul Turquia.
86. Plecnick, J.M., et al. "Strength Properties of Epoxy Repaired Structural Components During and After Fire Exposure" Proc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul, Turquia, Septiembre 1980.
87. Yokoyama, M. y Imai, H. "Earthquake Damage at High School in 1978 Miagi-Ken-Oki Earthquake and Methods of Repair and Sthengthening" Proc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul, Turquia, Septiembre 1980.
88. Arnold, C. y Elsesser, E. "Building Configuration: Problems and Solutions" Procc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul, Turquia, Septiembre 1980.
89. Kawamata, S. y Ohnuma, M. "Strengthening Effect of Eccentric Steel Braces to Existing Reinforced Concrete Framms". Proc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul, Turquia, Sept. 1980.
90. Hayashi, T. et al. "The Strengthening Methods of the Existing Reinforced Concrete Buildings".Proc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul Turquia, Septiembre 1980.
91. Makino, M. et al. "An Investigation for the Design of Framed Structures with Infill Walls" Proc. 7WCEE Septiembre, 1980.
92. Del Valle, E. "Some Lessons from the March 14, 1979 Earthquake in Mexico City". Proc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul, Turquia, Sept. 1980.
93. Sugano, S. y Fujimura M. "Aseismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings" Proc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul Turquia, Sept. 1980.

Uemura, H. "A Guideline to Evaluate Seismic Performance of Existing Medium and Low-Rise Reinforced Concrete Buildings and its Application" Proc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul, Turquía, Sept. 1980

Kahn, L.F. "Strengthening Existing RC Columns for Earthquake Resistance" Proc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul, Turquía, Sept. 1980.

Ifrim, M. "Strengthening Concept After Romanian Strong Earthquake of March 4, 1977" Proc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul, Turquía Sept. 1980.

Jabarov, M. et al. "Strengthening of Damaged Masonry by Reinforced Mortar Layers" Proc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul, Turquía, Sept. 1980.

Yüzügüllü, O. "Multiple Precast Reinforced Concrete Panels for Aseismic Strengthening of R.C. Frames" Proc. 7WCEE, Vol. 6, Estambul Turquía, Sept. 1980.

Ihki, K. y Bessho, S. "Experimental Investigation on Aseismic Strengthening for Existing Reinforced Concrete Frames" Proc. 7WCEE, Vol. 6, Estambul, Turquía.

Sheppard, P. y Terceelj, S. "The Effect of Repair and Strengthening Methods for Masonry Walls". Proc. 7WCEE, Vol. 6, Estambul, Turquía, Sept. 1980.

Yucheng, Yang y Liu, Yang "Empirical Relationship between Damage to Multistory Brick Buildings and Strength of Walls During the Tnaghahan Earthquake" Proc. 7WCEE, Vol. 6, Estambul, Turquía, Sept. 1980.

Kuroiwa, J. y Kogan, J. "Repair and Strengthening of Buildings Damaged by Earthquakes". Proc. 7WCEE, Vol. 4, Estambul, Turquía, Sept. 1980.

"Diseño y Construcción de Estructuras de Madera. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal". Instituto de Ingeniería. UNAM. México, Julio 1977.

"Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". Instituto de Ingeniería UNAM. México, Julio 1977.

"Varillas Corrugadas y Lisas, de Acero, Procedentes de Linote o Palanquilla, para Refuerzo de Concreto". (NOM-B-6-1980) Norma Oficial Mexicana, México, 1980 .

"Reinforcing Steel Welding Code". (AWS. D12.1-75). American Welding Society. U.S.A. 1975.

Oscar de Buen. "Nociones de Metalurgia de la Soldadura". Instituto de Ingeniería, UNAM. México, Enero 1969.

"Manual AHMSA: Construcción de Acero". Altos Hornos de México, S.A. México, 1975.

"Shotcreting". SP-14.. American Concrete Institute, Detroit 1966.

"Mechanical Fasteners for Concrete". SP-22, American Concrete Institute. Detroit, 1969.

"Lista de Publicidad sobre: Clavos y Pernos Hincados a Alta Velocidad, Barrenanclas y Taquetes": Fijatodo, S.A.; Ram. S.A.; Dover. México, 1985.

"Sistemas de Unión para Varillas de Refuerzo por Extrusión" Sistemas para Unión de Varillas, S.A. México.

Bett, B. J. "Behavior of Strengthened and/or Repaired Reinforced Concrete Columns Under Reversed Cyclic Deformations" The University of Texas at Austin. U.S.A. May. 1984.

A P E N D I C E A

DIMENSIONAMIENTO DE PIEZAS DE MADERA PARA APUNTALAMIENTO

(ref. 32)

Dimensiones: Usar las dimensiones reales, no las nominales.

Esfuerzos permisibles: Los esfuerzos debidos a las cargas previstas, no afectadas de factores de carga, deben ser iguales o menores que los esfuerzos permisibles de la tabla A-1.

[kg/cm²].

Sección Transversal	Flexión f_{bp}	Tensión f_{tp}	Compresión paralela a las fibras f_{cp}	Compresión perpendicular a las fibras f_{rp}	Cortante f_{vp}	Módulo de elasticidad promedio E_p	Módulo de elasticidad mínimo $E_{mín}$
Piezas de 2 pulg de grosor o menos y 6 pulg de ancho o menos	95	70	80	25	10	90 000	60 000
Polines (4 x 4 pulg)	85	65	75	25	10	85 000	55 000
Vigas (4 x 8 pulg) y secciones mayores	75	60	70	25	10	80 000	50 000

NOTAS: Para que sean aplicables estos esfuerzos la madera no debe tener nudos que ocupen más de la cuarta parte de la sección de la pieza y el contenido de humedad debe ser menor que 18%.

Si la madera está húmeda (el contenido de humedad mayor de 18%), el esfuerzo cortante (f_{vp}) debe reducirse en 15%, la compresión paralela a fibras (f_{cp}) en 20% y la compresión perpendicular (f_{rp}) en 50%.

Dimensionamiento de puntales sujetos esencialmente a cargas axiales de compresión.

Capacidad de carga:

$$P = f_{cd} A \dots \dots \dots (a)$$

donde:

P = Capacidad axial de compresión admisible (kg).

f_{cd} = Esfuerzo de compresión permisible (kg/cm^2), según ecuación (b).

A = Área de la sección del puntal. (cm^2)

Esfuerzo permisible de compresión:

$$f_{cd} = \frac{0.3E_{\text{mín.}}}{(kl/b)^2} \leq f_{cp} \dots \dots (b)$$

donde:

$E_{\text{mín}}$ = Módulo de elasticidad mínimo (kg/cm^2), según tabla A-1.

f_{cp} = Esfuerzo permisible en compresión paralela a las fibras, cuando no rigen los efectos de esbeltez (kg/cm^2), según tabla A-1.

kl = Longitud efectiva.

b = dimensión de la sección en la dirección crítica (cm).

Longitudes efectivas

Tomar $k = 1$ y $l =$ longitud total del puntal cuando no existe arriostramiento.

Tomar $k = 1$ y $l =$ longitud entre nudos o puntos de apoyo cuando existe arriostramiento, como en los ejemplos de la figura A.1.

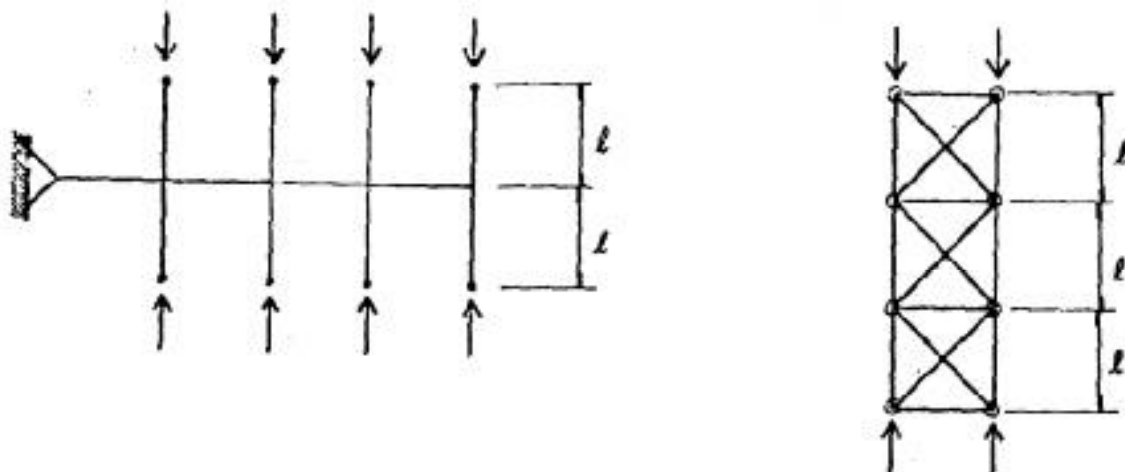


Fig. A.1. Longitudes efectivas

Es necesario revisar los efectos de esbeltez en las dos direcciones principales; regirá la condición más desfavorable.

Miembros compuestos

La capacidad de miembros formados por la unión de piezas con pernos o flejes como en la fig. 3.3b, debe tomarse

igual a la suma de las capacidades de los miembros unidos con
siderados independientemente.