



## CAPÍTULO 3

### ASPECTOS ESTRUCTURALES

El término estructural o componente estructural, se refiere a aquellas partes de un edificio que lo mantienen en pie, incluyendo cimientos, columnas, muros portantes, vigas y losas, diseñados para transmitir fuerzas horizontales, como de sismos, a través de las vigas y columnas hacia los cimientos.

La falla de uno de estos elementos puede generar serios problemas a la edificación, incluso su destrucción total. Estos elementos pueden tener características físicas diferentes, de acuerdo al tipo de material con que se encuentran constituidos —acero, madera, hormigón, adobe o tierra y mixtos—, por lo que su comportamiento también varía.

Antes de la década de los 70, no existían normas sismorresistentes, muchos hospitales medianos o pequeños se construyeron con diseños estructurales propios de la época, sin que existiera control municipal o institucional de los diseños y el proceso constructivo.

Las afectaciones por fenómenos naturales se maximizan o minimizan, de acuerdo a las características del material, al tipo de edificación, su diseño estructural y su comportamiento. Cualquier sistema constructivo puede ser bueno, todo depende de si fue diseñado para las diversas exigencias, construido técnicamente y mantenido adecuadamente; caso contrario, puede ser afectado ante un evento adverso. Muchas deficiencias estructurales no son detectables a la vista humana, antes de que ocurra un evento, por ello, es importante la evaluación de estos elementos con la participación directa de un especialista que identifique el tipo y nivel de vulnerabilidad o daño posible y las respectivas medidas de protección.

Contar con el estudio de vulnerabilidad estructural de un establecimiento de salud, previo a un desastre —principalmente antes de un sismo, que es la amenaza que mayor afectación ocasiona en la estructura— y disponer de los antecedentes en el

diseño, construcción y estado actual de la edificación, resultan fundamentales para identificar con rapidez y mayor certeza los daños que se puedan presentar posteriores al evento.

Es importante mencionar que existen diversos métodos de análisis cualitativos y cuantitativos de distinto grado de complejidad. Los métodos cualitativos utilizan características generales de la estructura para calificarla. Generalmente están asociados a índices globales que han sido calibrados con la experiencia de estructuras existentes de observación, entre éstos se pueden mencionar los propuestos por Hirosawa<sup>3</sup>, Gallegos y Ríos<sup>4</sup>, Meli<sup>5</sup>.

Por razones didácticas, el presente capítulo describe los sistemas estructurales que se aplican con mayor frecuencia en establecimientos de salud del nivel local y se especifican los principales efectos que podrían ocasionar eventos como sismos, inundaciones, incendios, en cada uno de ellos.

Este capítulo está elaborado para edificaciones de baja altura, de un piso para estructuras de madera apanelada, mampostería simple, mampostería con elementos enmarcantes de madera, metal u hormigón; y de dos y tres pisos para edificios de hormigón armado.

## ESTRUCTURAS DE MADERA

Se puede hablar de dos tipos de estructuras de madera, las apaneladas y las de mampostería enmarcada por columnas y vigas de madera. Las edificaciones apaneladas tienen las paredes de madera enchapada o entablada formando paneles; su techo es ligero. Es una estructura empleada con cierta frecuencia por la facilidad de acceso a los materiales, principalmente en zonas rurales, o por su facilidad de transportación a lugares lejanos. Conforman un sistema estructural tipo caja, fuerte y rígido. En otras palabras, son muy buenas para resistir sismos; sin embargo, son altamente vulnerables al fuego, inundaciones, deslizamientos de tierra y viento.

Es importante destacar la necesidad de dar un tratamiento adecuado para prolongar la vida de este material, por lo que las acciones de mantenimiento son fundamentales. En el aspecto sísmico, hay que cuidar el tipo de apoyo: al utilizarse en zonas inundables, por ejemplo, los apoyos son elevados y durante un sismo éstos pueden fallar.

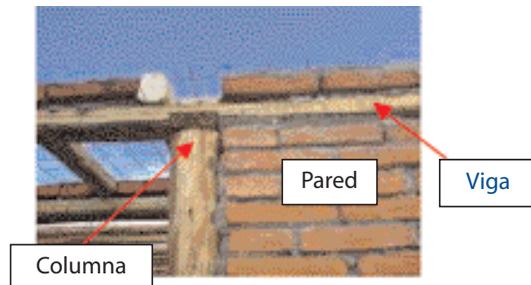


Falla en los apoyos que compromete la estabilidad de la edificación.

3 Hirosawa, M. *Retrofitting and Restation of Buildings in Japan*. Tsukuba, Japan: IISEE Lecture Note of Seminar Course; 1992.

4 Gallegos, H. y Ríos, R., *Índice de calidad estructural sismorresistente*. 4as. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Tomo 2. Viña del Mar, Chile; 1986.

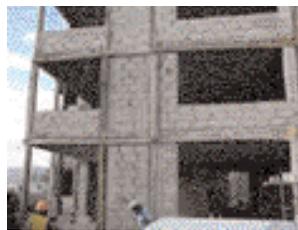
5 Meli, R., *Diseño sísmico de muros de mampostería, la práctica actual y el comportamiento observado*. Memoria Simposium Internacional de Seguridad Sísmica en Vivienda Económica. México D.F., México: CENAPRED; 1991.



Las estructuras de paredes de mampostería enmarcada de madera son frecuentemente utilizadas. Consisten en pórticos de madera —conformados por columnas, vigas, diagonales, tijerales, cerchas—, cuyos elementos se unen entre sí a través de ensambles, amarres, pernos; además, pueden llevar planchas de acero en las uniones. Su resistencia

sísmica es buena cuando las uniones son fuertes y rígidas, tanto entre columnas y vigas, entre columnas y el suelo, y entre marco y paredes, para enmarcar o confinar adecuadamente las paredes de mampostería.

Las paredes, además, deben estar sujetas a las columnas para que no se salgan de su plano en caso de un sismo. Cuando son de un piso, generalmente, son confiables para sismos, no así para más pisos, pues la discontinuidad vertical de las columnas crea una



debilidad frente a este evento adverso. Este sistema requiere un refuerzo metálico adicional para conectar la columna inferior con la superior.

Edificio de mampostería confinada con elementos de madera. Tuvo que ser reforzado por falta de continuidad de las columnas de madera.



*Los agrietamientos o rompimientos* de los elementos de madera son una clara evidencia de falta de resistencia del elemento y es necesaria la participación de un técnico que permita adoptar las medidas adecuadas de protección para el establecimiento de salud.

Rompimiento y caída de cubierta por colapso de pared de apoyo

La falta de los *elementos de ajuste* como pernos y clavos puede provocar caídas y pérdidas de elementos importantes en la estructura. Es necesario verificar si existen elementos faltantes y reemplazarlos urgentemente para evitar daños mayores.

Antes de colocar elementos de madera como parte del sistema estructural, se debe efectuar una curación o *tratamiento preservante* con líquidos y sustancias que permitan conservar la madera. Se recomienda el tratamiento por métodos industriales, que incluyen la extracción de la humedad mediante el vacío y luego la impregnación del preservante con una penetración de alrededor de 5 mm, lo cual garantiza una vida útil de por lo menos 20 años. La inmersión en fuentes de líquido preservante es menos efectiva, mientras la aplicación con brocha tiene una penetración aún menor. El mantenimiento periódico con este tipo de material evita muchos problemas y mejora la vida útil del material.

El contacto de la madera con la humedad afecta directamente las propiedades del material; además, provoca su destrucción y puede facilitar la creación de focos

infecciosos, por ello, con ayuda de un especialista, se pueden reemplazar estos elementos en zonas de humedad por otros de mejor comportamiento a este tipo de ambientes.

## ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA SIMPLE

Tienen paredes sin refuerzo interior y sin enmarcado completo con columnas y vigas. Los mampuestos pueden ser adobes, ladrillos, bloques de hormigón, tapia pisada, bloques de tierra prensada, bloques de terrocemento o incluso bloques de piedra.



Mampostería de bloques de terrocemento, con mochetas en extremos. Insuficiente resistencia a sismos.



Este tipo de estructuras —que en la mayoría de casos son antiguas— requieren especial cuidado y atención por su alta vulnerabilidad ante sismos, inundaciones y deslizamientos, debido a que no tienen cualidades de sismorresistencia, sus intersecciones de pared son débiles, sus componentes son muy pesados, no tienen reforzamiento en las paredes; agravado en ocasiones por mala calidad de los materiales, las aberturas de puertas y ventanas demasiado grandes y mal distribuidas y bases deficientes.

Detalle de la mocheta en extremo de la pared. Insuficiente resistencia a sismos.



Antes del sismo: sin síntomas. Solidez aparente.  
Frente al sismo: colapso parcial.



Centro de salud construido con mampostería de piedra. Colapso total de un sector.



Hay que destacar que las estructuras de mampostería de ladrillo, adobe, terrocemento, bloques de concreto, etc., sin refuerzo interno y sin elementos enmarcantes resistentes a tensión, son altamente vulnerables al sismo, por ello hay que reforzarlas o en lo posible reemplazarlas.

Colapso parcial de construcción de adobe

Si después de un sismo pequeño, la estructura solo se fisura, no solo se debe reparar la fisura, sino reforzarla integralmente.

Cuando las paredes son de adobe o tapia pisada, su exposición a la presencia permanente de agua puede debilitar sus ya frágiles bases, por las características físicas del elemento, y provocar el colapso total de la estructura, por lo que requiere de una protección adecuada.

## ESTRUCTURA DE MAMPOSTERÍA ENMARCADA

Son estructuras de paredes en cuyos extremos existen columnas y en la parte alta vigas horizontales o inclinadas. Se las conoce también como paredes confinadas. Las vigas y columnas pueden ser metálicas, de madera —como se indicó en el acápite anterior— o de hormigón.

Las que tienen elementos metálicos son edificaciones utilizadas con frecuencia, por la rapidez en el proceso constructivo y su fácil montaje. Consiste en pórticos de acero —conformados por columnas, vigas y otros elementos de cubierta—, cuyos elementos se unen entre sí mediante soldadura o planchas de acero empernadas. Por lo general, son livianas y no resultan muy vulnerables a sismos. Sin embargo, son vulnerables ante vientos fuertes cuando la cubierta es ligera y ante incendios prolongados.



Dispensario médico. Estructura metálica con paredes de bloque de hormigón, cubierta ligera, de un piso.



Parte de la estructura a la vista

La *oxidación* de los elementos metálicos es un problema que debe ser manejado con mucho cuidado, por lo que es conveniente protegerlos con procedimientos establecidos, lo que incluye pinturas antioxidantes. El mantenimiento de la cimentación de las columnas es muy importante, se empieza asegurándose que esté limpia y seca.

La oxidación de las bases, la *falta de elementos* —pernos, punto de suelda, etc.— en las conexiones de acero, son las principales fuentes de falla de este tipo de estructuras, lo que genera debilitamiento a la unión, por ello la principal atención que se debe dar a estos elementos es en las uniones entre miembros y con la cimentación.



Paredes bien mantenidas pero con cimentación de columnas en contacto con el suelo, lo que produce su oxidación. La hierba esconde las zonas oxidadas.



Estructura metálica originalmente de un piso, con losa nueva de entrepiso y posible efecto de columna corta ante sismo.

Los pasillos a ser utilizados en caso de una expansión hospitalaria, por aumento súbito de la demanda, deben cubrirse de preferencia con materiales livianos



Losa de hormigón

Columnas esbeltas

Losa pesada de hormigón de 20 cm de peralte, sobre columnas metálicas huecas de 7,5 cm de lado. Posible colapso en caso de sismo.

En ciertos casos de edificación rural se combina la estructura metálica con paredes de adobe y con inadecuado vínculo entre ellas: como resultado se tiene la separación en la intersección pared-columna y la posible caída parcial de la pared.



Estructura metálica enmarcante de las paredes de adobe. Cubierta ligera.

Además del sismo, hay que tener en cuenta otras amenazas. Las estructuras metálicas son estructuras vulnerables ante incendios. La presencia del fuego cambia las propiedades físicas del material con que se diseñó la estructura, se debilita rápidamente y



disminuye la capacidad de estos elementos para soportar cargas. Es necesario adoptar medidas que protejan contra el fuego. La forma directa de hacerlo es recubrir las columnas con un enlucido grueso de mortero de hormigón. Para la protección de vigas y demás elementos de la cubierta, se debe colocar un cielorraso de yeso que demorará algo sus afectaciones por el fuego, siempre que no se use una parrilla metálica delgada para soportar los paneles de yeso. Aunque podría tener algunos otros inconvenientes, el cielorraso de yeso sellado es mejor para protección del fuego.

Si el establecimiento de salud se encuentra ubicado en zonas de vientos fuertes y su estructura cuenta con elementos metálicos como recubrimiento de la cubierta, se sugiere acudir a un especialista que indique las medidas de mitigación a adoptar para proteger la edificación y así evitar excesivos gastos en reparaciones.

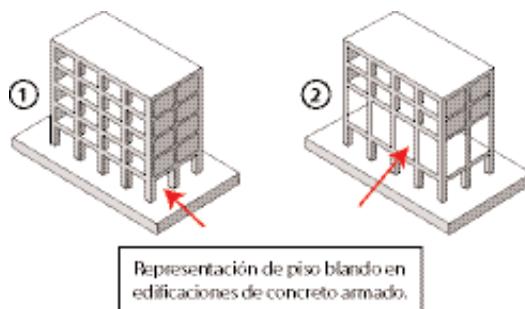
## ESTRUCTURAS DE CONCRETO



Es uno de los sistemas más comunes que podría presentar una edificación de salud para más de un piso. Cuenta con losas de entrepiso y cubierta, vigas y columnas que permiten la transmisión de cargas hacia el terreno. Es un sistema fuerte, pero normalmente pesado, por lo que su mayor amenaza son los sismos. Requiere un cuidadoso análisis y diseño estructural sismorresistente.

En ese sentido, la estructura de un hospital deberá ser proyectada, diseñada y construida de manera que:

- Resista sin daño alguno sismos de intensidad moderada.
- Resista con daños no estructurales menores y fácilmente reparables sismos de mediana intensidad.
- Resista con daño estructural reparable y que se garantice el servicio ininterrumpido del edificio durante sismos excepcionalmente severos.



Los principales aspectos de diseño que pueden causar problemas de comportamiento son piso blando y columnas cortas. El primero se da cuando, en la mayoría de niveles, hay numerosos muros que se repiten piso a piso, excepto en uno de ellos, donde por necesitar ambientes amplios (zona de recepción, salas de espera, etc.) tienen menor presencia de muros. Por su parte, el efecto de columna corta se presenta cuando un sismo afecta a la porción de columna libre, ubicada entre dos paredes que no son completas en altura.

presenta cuando un sismo afecta a la porción de columna libre, ubicada entre dos paredes que no son completas en altura.



Evidencia de daño en nudos

Otros problemas son: configuración en planta no simétrica, excentricidad excesiva, configuración defectuosa en altura, discontinuidad de elementos verticales y concentraciones de masa en pisos.

Antes de un sismo, la edificación puede ser totalmente asintomática por décadas, sin embargo, puede resultar altamente vulnerable a sismos. Esta peligrosa vulnerabilidad debe ser estudiada y detectada por especialistas, previo a un evento de esta naturaleza.

En otro aspecto, para desempeñar su función estructural las varillas deben estar rodeadas de hormigón, lo cual además sirve de protección contra la corrosión. Humedad y oxígeno son los ingredientes para que se corroan las varillas. En zonas a nivel del mar, el aire salino, con mayor presión atmosférica, mayor concentración de oxígeno y a veces mayor humedad, la probabilidad de corrosión es mucho mayor que en zonas altas.



## BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. *Manual de campo para la inspección de edificios después de un sismo*. Primera Edición. Manizales: 2003.
- Gallegos, H. y Ríos, R., *Índice de calidad estructural sismorresistente*, 4tas. Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Tomo 2. Viña del Mar, Chile: 1986.
- Hirosawa, M., *Retrofitting and Restation of Buildings in Japan*, Tsukuba, Japan: IISEE Lecture Note of Seminar Course: 1992.
- Meli, R., *Diseño sísmico de muros de mampostería, la práctica actual y el comportamiento observado*, Memoria Simposium Internacional de Seguridad Sísmica en Vivienda Económica. México D. F., México: CENAPRED; 1991.
- Organización Panamericana de la Salud, *Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de Salud*, Segunda Edición, Washington, D.C.: OPS; 2004.
- Organización Panamericana de la Salud. *Hospitales seguros ante inundaciones*, Washington, D. C.: OPS/OMS; 2006.