

CONCEPTOS PARA EVALUAR UNA ESTRUCTURA DAÑADA POR SISMO

Arq. Arturo Ríos Santa Cruz Polanco* y colaboradores**

Este es un manual básico para orientar, ayudar a identificar los daños causados por el sismo y riesgos latentes en las edificaciones afectadas. Es importante apoyarse con profesionales para determinar la gravedad del daño, las posibles soluciones y medidas provisionales.

Agradecemos tu apoyo en la distribución de esta información.

01 ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

Historia

Las estructuras de mampostería se han utilizado en el valle de México desde tiempos prehispánicos, en la época de la Colonia y actualmente siguen siendo vigentes, con actualizaciones tales como su uso mixto con el acero de refuerzo (castillos y cadenas). Las estructuras de mampostería son muy nobles y eficientes en su trabajo en compresión, sin embargo son vulnerables a las fuerzas de tracción. Durante más de 500 años se construyeron estructuras de mampostería simple, sin acero, estructuras que trabajan en compresión pura, pero con una capacidad prácticamente nula para tomar fuerzas en tracción, que son las que se generan durante los sismos.

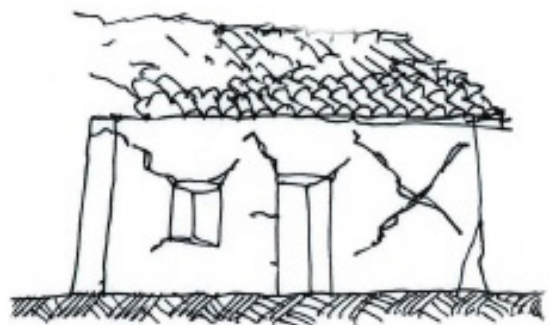
A partir del siglo XX se introdujo el acero de refuerzo (cadenas y castillos) en las estructuras de mampostería (piedra, tabique y block), mejorando su trabajo en tracción inducido por las fuerzas sísmicas. El trabajo de cadenas y castillos ha permitido reducir espesores en estas estructuras de mamposterías llevándolas a espesores de 15cm, 21cm y 28cm.

La eficiencia de este sistema constructivo (mampostería) se ha comprobado históricamente, ya que podemos seguir viendo edificios construidos con este sistema durante la Colonia y que actualmente permanecen de pie a pesar de los sismos y las deformaciones del suelo de la Ciudad de México, altamente compresible.

¿Cómo funcionan?

Para que estas estructuras trabajen eficientemente, tenemos que considerar, desde su proyecto, la orientación de dichos muros de manera ortogonal, o sea en ambas direcciones, permitiendo tomar las fuerzas sísmicas provenientes de cualquier dirección.

Cuando estas estructuras son sometidas a las fuerzas de los sismos, vemos que, dependiendo la intensidad del evento, llegan a aparecer grietas diagonales en dos direcciones, formando las típicas "X". Por otro lado, estas estructuras son, a largo plazo, altamente deformables, manteniendo su cohesión y estabilidad, como lo demuestran varios edificios en el centro de nuestra ciudad.



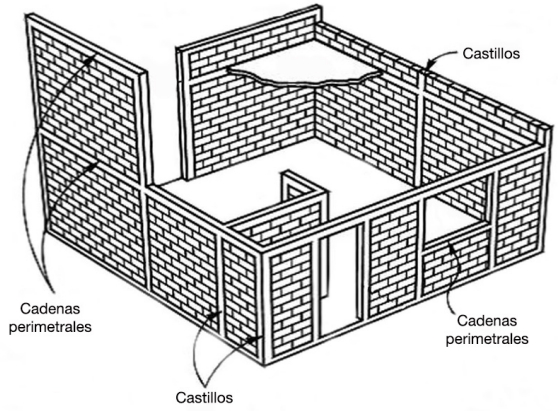
Grietas diagonales en "X"

Fuente: Patrimonio en Sierra Sismo 2010 (modificada)

* Especialista en cubiertas ligeras. Especialista en análisis y reestructuración de monumentos históricos. Profesor de cátedra en ITESM Campus Querétaro – Estructuras de piedra, madera y acero.

** Patricia Ríos, Rocío Soto, Monsterrat Ramos, Deyda Benotto, Carolina Muñoz, Lizzette Castillo, Nuria Hernández.

Los muros deben estar conectados entre sí, a través de diafragmas horizontales, que se materializan con las losas a través de las cadenas y castillos.



Fuente: Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería

Podemos catalogar estos daños en tres fallas típicas que llamaremos:

- Fisuras --- Fallas que van desde las capilares hasta aberturas de 5 mm (ancho)
- Grietas Moderadas --- Fallas que van de aberturas de 5 mm a 1 cm (ancho)
- Grietas Severas --- Fallas que van en aberturas de más de 1cm (ancho)

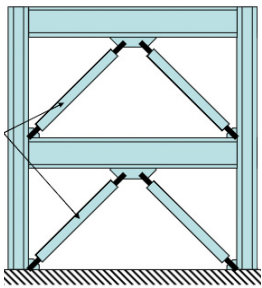
RESUMEN

- Se constituyen por muros de mampostería (piedra simple adherida con morteros de cal o cemento), con espesores grandes que van de 45cm a 150cm o más.
- Las estructuras modernas incluyen muros de mampostería confinados con castillos y cadenas con espesores que van de 15cm, 21cm y 28cm contruidos con tabique recocido y block de cemento-arena.
- En el proyecto deben considerarse muros orientados en ambas direcciones, para darles la capacidad de tomar las fuerzas sísmicas (horizontales) en cualquier dirección.
- Muros conectados entre sí a través de diafragmas horizontales para realizar un trabajo solidario, por medio de cadenas perimetrales y castillos.
- Fisuras y grietas:
 - Las fisuras no tienen consecuencias estructurales, únicamente de maquillaje arquitectónico.
 - Las grietas moderadas, que deben **atenderse a la brevedad posible** para devolver al muro su integridad como elemento estructural.
 - Las grietas severas, que convierten al muro en una estructura inestable con pérdida de su capacidad de carga. **Esta falla convierte al muro en una estructura susceptible de caerse en cualquier momento.**



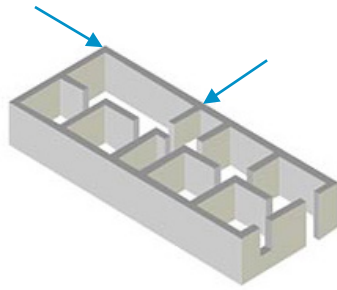
02

ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO Y ACERO



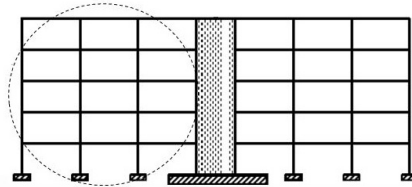
Fuente: Alacero

A. Muros rígidos o marcos arriostrados



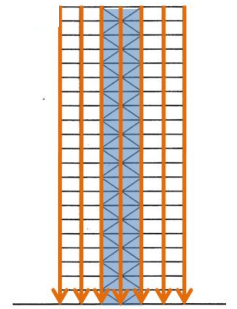
Fuente: Concremax

B. Muro de cortante en dos direcciones



Fuente: Alacero

C. Núcleo central con marcos



Fuente: Alacero

D. Núcleo central con marcos arriostrados

¿Qué son?

Debemos recordar que los edificios a base de columnas y plantas libres, nacen en países con actividad sísmica muy baja o nula. (Francia, España, Alemania, Holanda) Pienso que esta propuesta de planta libre no es lo recomendable en un país como el nuestro.

Las soluciones adecuadas deberían ser las estructuras con muros de cortante y marcos capaces de tomar fuerzas horizontales importantes.

En los casos de usar los muros de cortante en el núcleo de servicios, éste debe estar ubicado lo más cercano al centro de gravedad del edificio, para no generar torsiones. El proporcionamiento de las columnas y traveses (marcos), quedará definido tras el análisis de cargas estáticas y dinámicas (sismo).

¿Cómo funcionan?

Las estructuras a base de marcos son muy elásticas y durante un sismo sufren desplazamientos horizontales importantes. Los desplazamientos horizontales en los marcos chocan con los muros de relleno, elementos que sirven para dividir espacios o aislar el exterior. Estos muros no tienen una función estructural y debieran estar conectados pero al mismo tiempo, aislados de la estructura.

Normalmente durante el sismo, los elementos estructurales chocan con los muros de relleno y los rompen formando grietas diagonales en "X", ya que el movimiento se da en un va y ven. Lo importante es detectar el tamaño de:

- Fisuras: de 1mm a 5mm (ancho)
- Grietas moderadas: 5mm a 1 cm (ancho)
- Grietas severas: mas de 1cm (ancho)

La estructura principal, si no está dañada seguirá siendo segura, pero los muros con grietas severas destruyen su integridad, permitiendo su derrumbe en cualquier momento.

03

REVISIONES PRELIMINARES

Al revisar un inmueble, debemos considerar las siguientes condiciones:

- Ubicación del inmueble
 - ¿Está en zona de alta afectación?
Colonia Juárez, Condesa, Roma, Coyoacán, Centro, etc.
 - Revisar daños en calles y banquetas
 - Una revisión inicial de la verticalidad del edificio:
Como primer acercamiento: con un hilo y algo pesado en un extremo, usarlo como contrapeso y medir el desplomo aproximado.

Tabla para calcular el desplome visual y funcional de un edificio					
Edificio	Altura	Desplomo visual		Desplome funcional	
niveles	metros	Porcentaje	Desplazamiento	Porcentaje	Desplazamiento
6	16	0.67%	10.7 cm	0.94%	15 cm
5	12	0.73%	8.8 cm	1.03%	12.4 cm
4	9.6	0.78%	7.5 cm	1.09%	10.5 cm
3	7.2	0.82%	5.9 cm	1.15%	8.3 cm

LIMITES	El desplomo visual es lo que se llega a inclinar un edificio. Para calcular el desplomo visual= $\frac{100}{100 + 3h}$ *h= altura del edificio en metros	El desplomo funcional es el valor máximo que el usuario del edificio puede tolerar. Para calcular el desplomo funcional= $\text{Desplazamiento} \times 1.4$ (Por experiencia se ha determinado que es aprox. 40% mayor al desplomo visual - ya sea en porcentaje o en desplazamiento) *Enrique Santoyo Villa José A. Segovia
----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

¿Qué debo de revisar?

01. Determinar el tipo de estructura

- Muros de carga (trabajan adecuadamente hasta 4 pisos). Revisar que tengan cadenas y castillos.
- Marcos rígidos: Eficientes en edificios de 5 a 10 pisos.
- Son de Concreto
- Son de Acero
- Marcos Rígidos + Núcleo Central. Eficientes en edificios de 10 pisos o más.

02. Determinar muros de relleno

- Revisar procedimiento constructivo de muros de relleno:
- Tabique: deben tener cadenas y castillos.
 - Block: deben tener cadenas y castillos.
 - Tablaroca: muy ligero
 - Otros

A pesar de que un muro de relleno dañado no pone en peligro la estabilidad del edificio, puede derrumbarse y ser catastrófico para sus habitantes o peatones en banquetas.

¿Qué debo de revisar?

03. Daños en muros

- Desprendimiento de acabados →
- Fisuras
- Grietas (determinar tamaño)



Fuente: nbmcw.com

04. Daños en pisos

- Desprendimiento de acabados
- Daños en la superficie de la losa

05. Daños en plafones

- Daño de grietas
- Desprendimiento de acabados o módulos →



Fuente: Carrasquillo Associates

06. Daños en ventanas

- Fisuras o grietas a 45° en esquinas de vano
- Rotura de cristales

07. Daños en fachadas

- Desprendimiento de acabados
- Fisuras o grietas en muros
- Desprendimiento de precolados o elementos prefabricados



Fuente: Habitissimo

08. Daños en escaleras

- Grietas en apoyos de rampas (arriba y abajo) →
- Grietas en la propia rampa
- Derrumbe

Fisuras y grietas

Las grietas deben evaluarse de acuerdo al tamaño y ancho de la apertura. El problema de fisuras y grietas depende del sistema constructivo del inmueble.

En una estructura diseñada con muros de carga, las grietas y fisuras pueden poner en riesgo la estabilidad de la estructura - dependiendo de la separación que han causado en el material.

Dependiendo del tipo de estructura referirse a la información en la página 2 (estructuras de mampostería) o 3 (estructuras de concreto armado y acero).

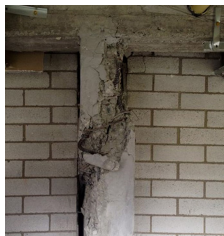
Nudos de columnas y trabes

Los nudos son las intersecciones entre columnas y trabes. Ante un sismo estos puntos son los más vulnerables. Sus daños son muy riesgosos y varían de las siguientes maneras:



Fuente: fuull.ec

1. Grietas en los elementos



Fuente: 30 minutos

2. Desprendimiento del recubrimiento



Fuente: Reporte de SEGOB

3. Rotura del nudo, permitiendo deformaciones importantes en las varillas de refuerzo



Fuente: PUCP

4. Cizallamiento de los elementos por fuerza cortante

Fisuras y grietas

- Los casos 1 y 2 no representan un riesgo inminente en la estructura. Deben atenderse lo antes posible.
- El caso 3 acusa una falla que ya genera inestabilidad en el edificio (no es habitable).
- El caso 4 genera una pérdida grave de la capacidad de carga de la estructura (no es habitable)

Los casos 3 y 4 requieren de una evaluación para ser susceptibles de reparación antes de considerar su demolición. Normalmente cuando son reparables hay que encamisar la estructura con otra que le devuelva la capacidad de carga vertical y horizontal. Generalmente se acompaña esta solución con diagonales entre columnas y traveses para tomar las fuerzas horizontales.

04

EL TIPO DE SUELO



No debemos perder de vista, que el subsuelo es otro elemento muy importante a considerar. La mayor parte de la ciudad está en el vaso lacustre del Valle de México, y ahí se encuentra la mayoría de las construcciones.

Debemos recordar que en terrenos blandos, las construcciones deben ser "RÍGIDAS" y en terrenos duros, deben ser "ELÁSTICAS".

Esto es con la intención de alejar el período de vibración de la estructura con el período del suelo. De esta manera se evita la sincronización de los períodos vibratorios y que se sumen los efectos de las ondas sísmicas con las de oscilación del edificio. Así, impedimos una falla total por esta razón.

¿Cómo distinguir una estructura rígida de una elástica?

ELÁSTICA

- Se estructura a base de marcos rígidos que son muy flexibles.
- Se requiere de secciones muy grandes para tomar los desplazamientos horizontales o de varias columnas con claros pequeños para repartir los esfuerzos horizontales entre un mayor número de elementos.

RÍGIDA

- Se estructuran a base de muros de cortante (concreto) en dos direcciones.
 - Núcleos de servicios e instalaciones de concreto.
 - Edificios estructurados con megamarcos.
 - Núcleos dentro de muros perimetrales, haces de núcleos con bases muy amplias que van disminuyendo en función de su altura.
- * Estas soluciones se adoptan en función a su altura.

** Muchos conceptos en este documento surgen a partir de conversaciones con el Dr. Arq. Fernando López Carmona y el Dr. Arq. e Ing. Enrique Santoyo Villa. Agradecemos sus invaluable aportaciones y experiencia para dar luz en estas situaciones.