
SISMOLOGIA Y CONSTRUCCION: LECCIONES PARA LA INGENIERIA

ROBERTO ROCHEL AWAD

Durante varias décadas, los diversos temblores que afectaron a Colombia no la dañaron significativamente por no existir las grandes concentraciones urbanas de la actualidad, eso hizo pensar que era un país seguro, los sismos recientes han desnudado la gran verdad: los centros urbanos son altamente vulnerables.

El 31 de marzo de 1983 Popayán quedó semidestruida y perecieron 308 personas. El 17 y 18 de Octubre de 1992 movimientos sísmicos con epicentros en Murindó afectaron el Occidente de Antioquia y ocasionaron daños en Medellín que superaron los diez millones de dólares. El 6 de junio de 1994 un sismo provocó la avalancha del Río Páez, perecieron 78 personas y desaparecieron varios caceríos. El 19 de enero de 1995 un sismo con epicentro en el Casanare afectó la capital de la República y el 8 de febrero de 1995 un sismo con epicentro en Trujillo, norte del Valle del Cauca, afectó gravemente las ciudades de Pereira y Armenia.

Colombia está ubicada en la zona sísmica más activa del mundo, llamada Cinturón de Fuego Cincunpácifico, y tiene innumerables fallas al interior del continente que han ocasionado y ocasionarán sismos de igual o mayor intensidad que los mencionados, en ellos se perdieron miles de vidas, miles de millones de pesos y fueron decenas de miles los damnificados.

Se debe hacer frente a la gravedad de los hechos, se debe mantener bien informada a la población, no tener miedo de decir la verdad y dar orientación sobre las acciones de atención, prevención y reconstrucción. Se deben divulgar los conocimientos científicos y técnicos que se tienen en materia de sismos y sus repercusiones, así como abrir espacios de análisis y reflexión sobre las enseñanzas que en todos los aspectos del quehacer humano nos han dejado estos eventos.

El país necesita conocer los resultados, los datos y las experiencias aprendidas de estos eventos. Aunque todavía no se pueden sacar conclusiones, si proporcionan información importante; veamos algunas de ellas:

ALTO RIESGO SISMICO

Las aceleraciones registradas en Medellín en los sismos de octubre 17 y 18 de 1992 fueron del orden del 3% de la gravedad; valor similar se registró en Santafé de Bogotá en el sismo del 19 de enero de 1995 y esa es la aceleración estimada para Pereira en el evento del 8 de febrero de 1995.

ROBERTO ROCHEL AWAD. Profesor titular, Universidad EAFIT.

Colombia está ubicada en la zona sísmica más activa del mundo, llamada Cinturón de Fuego Cincunpacífico, y tiene innumerables fallas al interior del continente que han ocasionado y ocasionarán sismos de igual o mayor intensidad.

Estas aceleraciones son bajas comparadas con las esperadas (15 y 20%). El nivel de daños que se ha presentado es muy alto para la aceleración registrada, puede esperarse un evento sísmico cinco o más veces más devastador que los mencionados. Es una voz de alerta de la naturaleza. El Gobierno Nacional, los ingenieros y la ciudadanía deben preparar las acciones que se deben tomar para mitigar los efectos de un sismo de estas características.

ESTRUCTURAS FLEXIBLES

El sistema estructural, tradicionalmente empleado en Colombia, es el aporticado, constituido por vigas y columnas, dicha clase de estructuras es muy flexible y ante los eventos sísmicos presenta movimientos laterales altos, ésta es la causa de los daños más frecuentes en la mampostería y en las fachadas de los edificios por las siguientes dos razones:

a. Como la estructura es flexible va a presentar desplazamientos laterales altos y debe proporcionársele la libertad de tenerlos, en consecuencia, debe separarse adecuadamente de las construcciones vecinas; si no se proporciona esta separación, los edificios en sus oscilaciones pueden golpearse entre sí, lo cual, cuando las losas están al mismo nivel, ocasiona daños en las fachadas y en los muros y si las losas están a distinto nivel es aún más grave, pues puede ocasionar la falla de las columnas cuando chocan y llevar al colapso total a la estructura cuando las construcciones que se golpean sean de altura diferente, puesto que se altera su rigidez. **(Ver fotos No. 1 y 2).**

Para las estructuras existentes la única solución sería su rigidización para disminuir los daños, pero para las nuevas las diferentes oficinas de Planeación Municipal deben **exigir con todo rigor** el estricto cumplimiento de la separación entre estructuras que exige el Código Colombiano.

b. Tradicionalmente en Colombia se emplean, en muros divisorios y de fachada, ladrillos de arcilla o bloques de concreto, esta mampostería es muy rígida y es imposible exigirle que tenga la misma deformación de la estructura sin que llegue a fisurarse. Es incompatible una estructura flexible con muros rígidos. En estas condiciones, siempre que ocurra un sismo, la estructura flexible se deformará y tratará de imponerle esta deformación a la mampostería causándole la falla, falla que por su forma y ubicación es muy impactante y peligrosa por los efectos que los desprendimientos puedan causar en las personas. Una falla en la mampostería no siempre es un indicativo de falla estructural, refleja la excesiva flexibilidad del sistema estructural.

Este tipo de falla se observa en el agrietamiento de los muros, el desprendimiento de la mampostería y de acabados de fachada, es la mayor causa de pánico y zozobra entre la población **(Ver fotos No. 3 y 4).**

Esta falla se ha presentado con mucha frecuencia en edificios muy nuevos, construidos con la norma vigente, para corregir su mal comportamiento, la ingeniería estructural debe girar hacia un sistema estructural rígido, éxito de la ingeniería Chilena, que reduce los desplazamientos de la estructura y con ello el nivel de daño en la mampostería y acabados. También deben investigarse nuevos materiales para substituir los rígidos muros de mampostería por elementos flexibles congruentes con el sistema estructural.

La alta flexibilidad de los sistemas estructurales ha sido la causa del daño más común y costoso en la reparación de las estructuras dañadas por los sismos recientes en Colombia y posiblemente la causa del colapso del edificio de cinco pisos de la ciudad de Pereira. En la foto No. 6 se observa que debido a la flexibilidad de esta estructura las losas cayeron unas sobre otras separadas una distancia de 1,50 m. **(Ver fotos No. 5 y 6).**

Una incorrecta disposición de la mampostería puede alterar la rigidez de la estructura e inducirle una torsión no estimada en el análisis, lo cual puede llegar a ocasionar su colapso; este caso es muy usual en los edificios de esquina, en los cuales los costados sobre las calles están prácticamente exentos de muros, mientras que los otros dos costados se llenan con mampostería para separar la estructura del vecino. Debe prestarse especial

atención a este caso, la estructura que se construya debe estar acorde con el modelo que se adopta para el análisis.

CALIDAD DE LA CONSTRUCCION

La mayoría de las fallas observadas no se debe a deficiencias de las normas, sino al incumplimiento de éstas. Se ha aprendido de los defectos constructivos que conviene mejorar, aumentando la calidad de la construcción y el control sobre profesionales independientes y aun sobre firmas reconocidas que anteponen sus intereses económicos a la calidad de la obra, el estado está en la obligación de velar por la vida y bienes de los ciudadanos. Entre los principales problemas se cuentan:

- Por lo general las escaleras se colocan en sitios inapropiados y oscuros, constructivamente no se les presta la importancia que juegan en un evento sísmico y se diseñan y construyen considerándolas de importancia secundaria. Todos los edificios dañados presentan averías en las escaleras.
- Los muros interiores y de fachada fallan debido a su fragilidad, usualmente no se les coloca refuerzo el cual es conveniente proporcionar para mejorar su ductilidad y evitar su desintegración en los movimientos sísmicos, y con ello disminuir el peligro de accidentes por caída de escombros. Es necesario estudiar la estabilidad del muro, pues son frecuentes las fallas por volcamiento.
- Se ha observado que en muros construidos con bloques de concreto, el mortero de pega es muy pobre, tanto en cemento como en adherencia, lo cual conduce a que los bloques de concreto quedan casi sueltos, aspectos que deben analizarse. Se ha observado un mejor comportamiento de los muros construidos con ladrillos de arcilla.

Se debe hacer frente a la gravedad de los hechos, se debe mantener bien informada a la población, no tener miedo de decir la verdad y dar orientación sobre las acciones de atención, prevención y reconstrucción.

- Para aprovechar al máximo el terreno, es habitual que las construcciones se lleven exactamente hasta el lindero y no se deje la separación adecuada entre estructuras para permitir su libre oscilación durante un sismo, este problema genera golpeteo entre las estructuras, con daño en los muros y puede llegar a producir el colapso de las construcciones. **(Véase fotos No. 1 y 2).**

- A los ventanales no se les da la holgura necesaria para que los vidrios no fallen cuando la estructura oscile. **(Ver fotos No. 7 y 8).**

- Las columnas deben llevarse hasta la cubierta para confinar los muros del último piso con las vigas de techo. En algunas ocasiones, esto no se hace y en caso de un sismo se ha producido el colapso del último piso.

Discusión especial merecen: Las viviendas de uno y dos pisos, las rurales construidas normalmente en tapia, las construcciones en los asentamientos suburbanos y otras tantas construidas sin criterio ingenieril; su falla principal obedece a la falta de una viga para el amarre de la cubierta y al confinamiento de los muros, defecto que conduce al desplome de la cubierta y al volcamiento de los muros.

- Los antepechos se adosan a las columnas con lo cual se reduce su longitud libre y se restringe su desplazamiento lateral. Este error conceptual es muy grave, puede conducir al colapso de las columnas por cortante. Este aspecto constructivamente es fácil de corregir: basta con aislar el antepecho de las columnas. Este tipo de falla se presentó en Pereira en el edificio del SENA.

DAÑOS ESTRUCTURALES

Algunos de los daños estructurales presentados en la ciudad de Pereira son:

- Falla en las columnas por carga excéntrica con pandeo del refuerzo principal, agravado en algunos casos por la falta de estribos o por su colocación inadecuada.
- Excesivo recubrimiento en las columnas que conduce a núcleos escasos de sección, su falla se presenta por aplastamiento y pandeo.
- Traslapos insuficientes e inadecuadamente colocados en las columnas.

- Excesiva flexibilidad de las estructuras.
- Primer piso muy flexible.
- Nula o insuficiente separación de las construcciones.
- Muros de fachada sin refuerzo e interiores sin estabilidad lateral. (Ver fotos No. 9 y 10)

Se deben divulgar los conocimientos científicos y técnicos que se tienen en materia de sismos y sus repercusiones, así como abrir espacios de análisis y reflexión sobre las enseñanzas que en todos los aspectos del quehacer humano nos han dejado estos eventos.

CONCLUSIONES

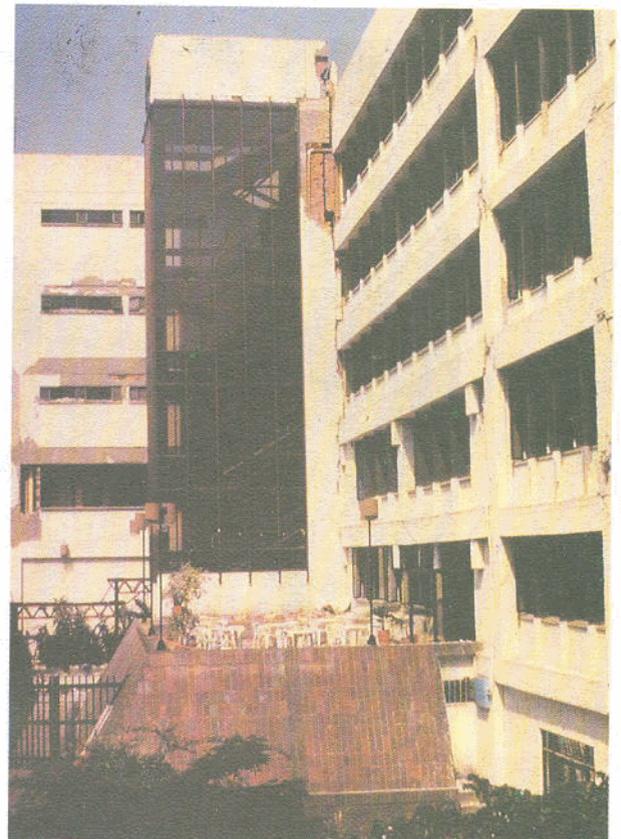
- El desarrollo urbano debe estar ligado a las propiedades ingenieriles de los suelos; en los principales centros urbanos deben realizarse estudios de microzonificación sísmica.
- Deben hacerse estudios catastrales sobre calidad de la vivienda y ligar a ellos la microzonificación sísmica para desarrollar planes de emergencia, acordes con la amenaza sísmica del lugar. La experiencia vivida en Medellín, Santafé de Bogotá y Pereira indican que la radiografía del sistema constructivo Colombiano es el mismo y ante eventos sísmicos moderados debemos esperar las fallas presentadas y prepararnos para eventos más severos donde seguramente se aumentarán las pérdidas.
- Deben diseñarse sistemas estructurales más rígidos para disminuir sus desplazamientos laterales y reducir con ello los daños en la mampostería.
- Deben realizarse investigaciones para buscar nuevos materiales para los muros divisorios y de fachada, buscando que sean más flexibles que los actuales muros de ladrillos, de arcilla o bloques de concreto.

- Es urgente prestarle mucha atención a la calidad de la construcción. El gobierno nacional a través de las oficinas de Planeación Municipal debe jugar el papel que le impone la Constitución Nacional de velar por la vida y bienes de los ciudadanos.
- La profesión de ingeniero calculista sólo debe ejercerla profesionales especializados o con gran experiencia, que tengan un perfecto conocimiento de la complejidad del fenómeno sísmico.
- Podría pensarse en una filosofía de diseño que permita un comportamiento rígido de la estructura en condiciones de servicio y dúctil en condiciones de falla.
- Las estructuras como: hospitales, clínicas, plantas de procesamiento de agua, etc., deben diseñarse bajo parámetros rigurosos que garanticen su funcionamiento después de un sismo. Es urgente desarrollar un estudio patológico de las estructuras no diseñadas para estos fines, pero que prestan estos servicios.
- Las recomendaciones anteriores cobijan a las nuevas estructuras, pero ¿qué hacer con las dañadas? La reparación de una estructura dañada debe tratar de corregir, en lo posible, las causas del daño, de lo contrario debe tomarse conciencia de que éste se repetirá cuando un sismo similar ocurra.
- Las casas de uno y dos pisos, mientras no se coronen los muros con vigas de amarre y se confinen éstos, estarán expuestas al colapso de las cubiertas y al volcamiento de los muros.
- El sismo que ocurrió en la localidad de Trujillo ha sido registrado en más de 14 sismógrafos, lo que permitirá, por primera vez, un análisis profundo de un evento sísmico colombiano.
- Por último, si usted va a comprar una construcción o vivienda está bien que cuantifique los metros cuadrados de construcción, la calidad de los acabados de baños y cocinas, porque de ellos depende su confort, pero analice también cuál es el ingeniero de suelos, el estructural y la empresa constructora, pues en buena parte, de ellos depende la seguridad de su inversión y de su vida.



FOTO No. 1
Golpeteo y peligroso cambio de rigidez
en construcciones con diferente altura,
separación insuficiente entre los edificios.
(Medellín 1992)

FOTO No.2
La estructura de la torre de escaleras
es independiente del edificio pero no
se respetó la separación que debe
existir entre ellos.
(Pereira 1995)



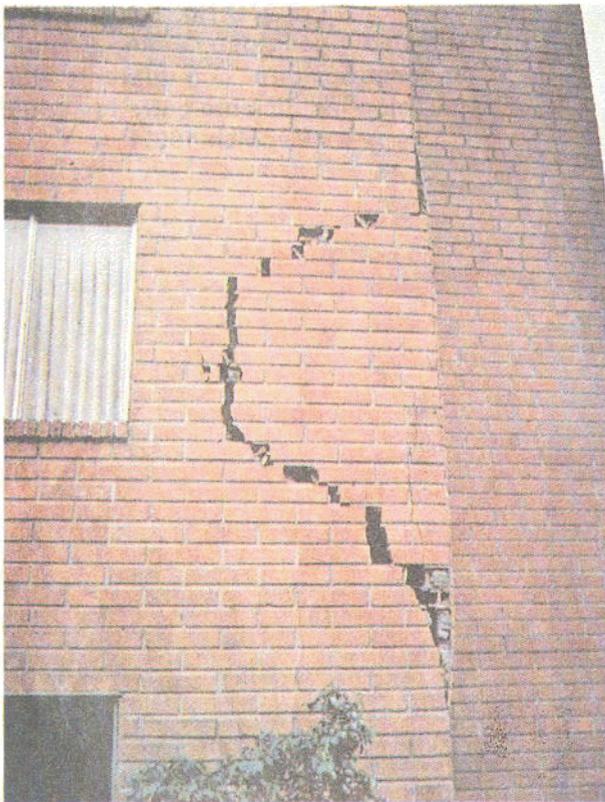


FOTO No. 3
Avería en los muros de fachada con
posibilidad de desprendimientos
por falta de refuerzo.
(Medellín 1992)



FOTO No. 4
Graves daños en la mampostería de fachada, no reforzada,
con grave peligro por desprendimiento de ella.
(Pereira 1995)



FOTO No. 5
Colapso total del edificio por flexibilidad excesiva de la estructura.
(México 1985)

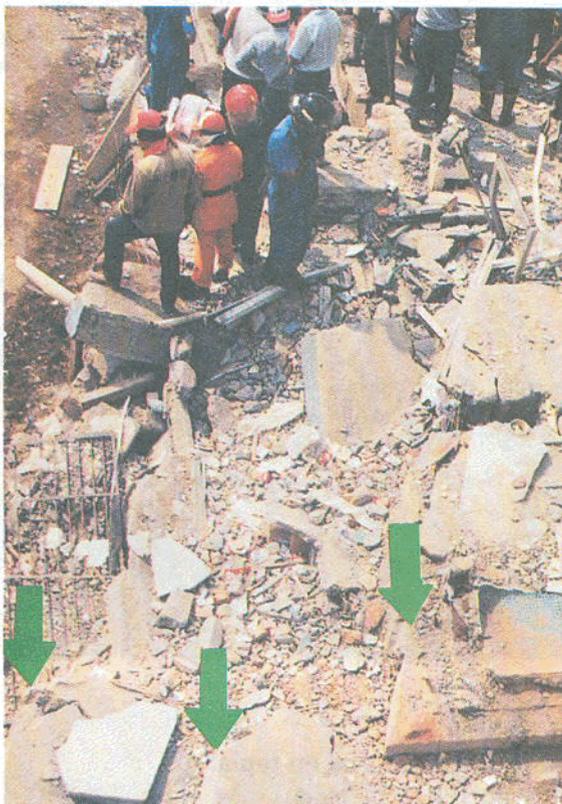


FOTO No. 6
Colapso total de un edificio de cinco pisos
causados posiblemente por excesiva
ductilidad de la estructura, obsérvese el
desplazamiento relativo entre las losas.
(Pereira 1995)



FOTO No. 7
Colapso de viviendas por falta de viga de amarre y confinamiento de muros.
(Pereira 1995)



FOTO No. 8
Falla de vivienda rural con muros en tapia.
(Urrao 1992)



FOTO No. 9
Falla en columna por carga axial, sección insuficiente
y mala calidad del hormigón.
(Pereira 1995)



FOTO No. 10
Falla de la unión viga-columna
por carencia de estribos.
(Pereira 1995)

BIBLIOGRAFIA

Fundación ICA, A.C. Experiencias derivadas de los sismos de septiembre de 1985, México: Editorial Limusa, 1988.

Laorden, Luis. Lecciones aprendidas o vueltas a aprender en diversos terremotos. Medellín: Instituto Colombiano de Productores de Cemento, ICPC, 1974.

Tiedemann, Hebert. ¿Pequeños terremotos - Pequeños riesgos? Zurich: Suiza de Reaseguros, 1987.

Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, Decreto 1400 de 1984. Bogotá: Editorial Legis, 1984.

Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, 1995. Versión preliminar.