

# EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE PERDIDAS A CONSECUENCIA DE TERREMOTO DAÑOS MATERIALES EN EDIFICACIONES

UN ENFOQUE PARA  
SUSCRIPCIÓN Y ATENCIÓN  
DEL RECLAMO

Cra. 7 No. 156 – 10 Of. 1607 / Edificio Torre Krystal  
Bogotá D.C., Colombia  
Pbx: +57 (1) 3902846  
[info@valuative.co](mailto:info@valuative.co)

VALUATIVE

LÍDERES EN INVESTIGACIÓN Y PROTECCIÓN PATRIMONIAL

**EVALUACION Y ANALISIS DE PERDIDAS A CONSECUENCIA DE TERREMOTO  
DAÑOS MATERIALES EN EDIFICACIONES  
UN ENFOQUE PARA SUSCRIPCION Y ATENCION DEL RECLAMO**

En el año 2018 tuvimos la oportunidad de publicar nuestra Edición sobre **CONCEPTOS Y CRITERIOS PARA EVALUACION DE PÉRDIDAS A CONSECUENCIA DE TERREMOTO**, en el cual se mostraron conceptos referentes a las características generales de origen y consecuencia de los efectos de un sismo, que en términos generales permitió ver, además de los principales cuestionamientos que es menester hacernos al enfrentarnos ante un siniestro originado en ésta clase de circunstancias, así como los elementos que siempre deben considerarse al realizar un proceso de atención ante un reclamo, en virtud de la fuerza o magnitud del fenómeno, los mecanismos de construcción del (de los) predio(s) afectado(s) por el (los) cual(es) se reclama, características directas y ulteriores del evento, evaluados en lo que a magnitud (fuerza o energía liberada), distancia, profundidad y características de los terrenos, caben esperarse.

Dado el interés generado en el mismo, a través de la presente edición, hablaremos de aquellas afectaciones que son reclamadas por los asegurados, cuando una condición de origen sísmico se presenta, desde el punto de vista de los daños, que si bien pueden no ser destructivos, sino simplemente “aparatosos o escandalosos en virtud e la apariencia que muestran” si suelen considerarse originados en un fenómeno como el terremoto, pero que no causan daños mayores a las estructuras, aunque si es posible que produzcan efectos menores que generalmente no comprometen la edificación, pero que desde el punto de vista del afectado son vistos como una “catástrofe” en razón de la significancia que su propiedad representa para su patrimonio.

Así las cosas, por ejemplo, si luego de un sismo de magnitud intermedia, por ejemplo, 5,0 Mw ocurrido a 250 km de distancia y a una profundidad de 150 km, es posible que sea percibido por las personas en estado de reposo y de hecho, la noticia hable del evento y como éste fue percibido en su localidad y el temor que generó. Acto seguido, un propietario juicioso, nota que la pared de su sala, las columnas de su entrada, algún dintel de una puerta interna o algunos azulejos de su baño han resultado “afectados” por lo que se lo atribuye al sismo, resultando en una condición natural que le lleva a presentar una reclamación formal ante su asegurador.

Independiente, de que los “daños” son evidentes en el reconocimiento del inspector, los mismos, desde el punto de vista de la presencia de un deducible, podrían configurarse fácilmente absorbidos por el mismo y consecuente negación de responsabilidad por parte de la Aseguradora.

Ante tal circunstancia, es importante que el inspector designado para verificar la presencia y el estado de tales daños, disponga de herramientas cognitivas que en primera instancia "apaciguan" la preocupación del asegurado, mostrando con el conocimiento adecuado, que tales daños, si bien son evidentes, no ofrecen ningún tipo de peligro inmediato en virtud de que los mismos no se configuran como un daño catastrófico inmediato y que su reparación puede resultar sencilla, rápida y de bajo costo.

Así las cosas, veamos cómo se pueden clasificar los daños, de acuerdo con las observaciones realizadas en el predio afectado:

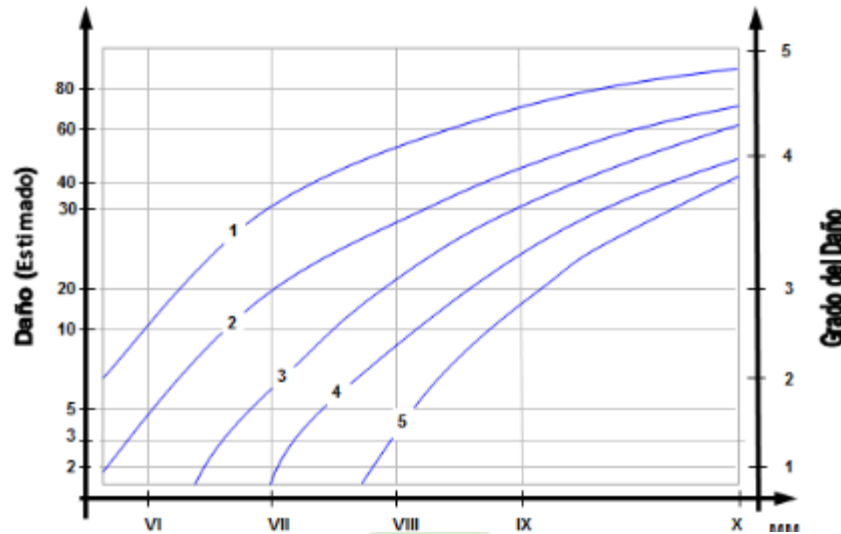
**Por la Tipología:** Se consideran las estructuras y sus elementos por los materiales, las técnicas y otros factores que pueden afectar la respuesta sísmica de las mismas, desde el punto de vista de su vulnerabilidad (probabilidad de sufrir cierto nivel de daño para una intensidad sísmica dada). Sin embargo, su limitación radica en que no permite tener en cuenta las modificaciones que han sufrido las estructuras a lo largo de su vida útil, como por ejemplo las reparaciones.

No obstante tal limitante, es factible acorde con estadísticas, prever resultados de afectación dependientes de la aceleración del suelo y sus efectos, tal como se mide en la Escala Modificada de Mercalli, así:

Estado del Daño	Daño Estructural	Daño no Estructural	% de Daño Estimado
1	Ninguno	Ninguno	0.00 - 0.05
2		Menores	0.05 - 0.30
3		Puntuales	0.30 - 1.25
	No apreciables	Distribuidos	1.25 - 3.50
	Menores	Substanciales	3.50 - 7.50
4	Substanciales	Severos	7.50 - 20.0
	Mayores	Casi totales	20.0 - 60.0
5	Construcción en Ruinas		Mayores a 60.0
	Colapso Total		100

MM [Gal] cm/seg <sup>2</sup>	I a IV	V a VI	VII a VIII	IX en adelante
	≤ 5 a 40	41 a 160	161 a 640	641 en adelante

Por lo que el comportamiento de los daños y consecuentemente el valor de las pérdidas, tiende a mostrar el siguiente comportamiento:



La relación de daño expresa la probabilidad que una construcción de una determinada clase, experimente un nivel de daño por causa de una intensidad sísmica dada.

Es por tanto de recordar que el **Daño** es el grado de degradación o destrucción causado por un fenómeno sobre las estructuras, traducido en deformaciones irreversibles (inelásticas), por lo tanto, cualquier variante de daño debe ser preferiblemente referida a una cierta cantidad de deformación.

La evaluación y la interpretación del daño causado por sismos son requeridas para cuantificar y explicar los efectos de este fenómeno sobre la(s) estructura(s) afectada(s) al sobrepasarse el límite elástico de los materiales que componen la estructura, iniciada desde el momento mismo de la inspección posterior al siniestro, pero de ser necesario y dependiendo de las observaciones realizadas, puede llegarse el caso de requerir una evaluación especializada de Comportamiento – Efecto - Resultado realizada mediante un método forense.

Al producirse un terremoto, los daños en las estructuras o construcciones se relacionan con los tipos de elementos constructivos, materiales empleados, modo de construcción, suelo, topografía, ubicación geográfica, composición físico química de los terrenos (materiales sueltos, baja cohesión, existencia de materiales no consolidados, contenido de agua, además de la cuenca sedimentaria en la que se ha construido el bien afectado, pues posible que se hayan llegado a presentar fenómenos de amplitud y duración del movimiento.

*Las ondas sísmicas afectan a las estructuras en función de diferentes características:*

- ✓ **Ondas de baja frecuencia hacen que los edificios altos entren en resonancia, afectando en menor grado a los bajos**
- ✓ **Ondas de alta frecuencia afectan sobre todo a construcciones bajas (casas de uno, dos o tres pisos) y en menor grado a las grandes estructuras**
- ✓ **Periodo natural del terreno**
- ✓ **Periodo fundamental de la estructura afectada**
- ✓ **El mayor daño se produce en terreno blando y menor en terreno duro**
- ✓ **Los edificios altos sufren más daños que los bajos en terrenos blandos**

### **DAÑO SISMICO ESTRUCTURAL**

Está relacionado con las deformaciones inelásticas irreversibles de una estructura, o estar referida a una cierta cantidad de deformación, o la no linealidad o continuidad de los materiales empleados en el proceso constructivo. (Estos factores especializados son usualmente manejados dentro de la Ingeniería Forense al buscarse la causa de pérdida de resistencia de una estructura ante la fuerza, intensidad o magnitud de un sismo que afecta la estructura, es decir, se busca la razón de por qué falló la estructura).

Recordemos que la finalidad de una estructura es la de recibir, resistir y transmitir las cargas a los apoyos y de estos al terreno, sin sufrir deformaciones incompatibles con el tipo de material empleado ni con el uso del edificio.

**ELEMENTOS PROPENSOS A DAÑOS**

- ESTRUCTURALES** Son los que componen los sistemas resistentes de cargas verticales (gravitacionales), de viento, sísmicas, naturales y/o por deformaciones impuestas.
- ARQUITECTONICOS** Muros divisorios, ventanales, revestimientos y demás elementos que serán fijos a la estructura.
- INSTALACIONES** Tuberías de agua, redes eléctricas y de alcantarillado, conducciones de gas, instalaciones telefónicas, etc.
- CONTENIDOS** No hacen parte de la estructura, tales como mobiliario, equipos máquinas, decoración, etc.

Los últimos tres tipos corresponden a elementos No Estructurales, sin embargo, se presentan variables que condicionan el daño, pues suelen ser sensibles a la deriva. Mientras los componentes estructurales son sensibles a la deriva, mientras que los no estructurales pueden dividirse en dos grupos: 1) elementos sensibles a la deriva entre piso y 2) sensibles a la aceleración:

TIPO	Tipo de bien	Sensible a la Deriva	Sensible a la aceleración
<b>Arquitectónicos</b>	Divisiones	●	○
	Parapetos	●	○
	Paneles exteriores	●	○
	Ornamentos	●	○
<b>Mecánico y Eléctrico</b>	Mecanismos generales	○	●
	Sistemas de tuberías	○	●
	Elevadores	○	●
	Electricidad en general	○	●
<b>Contenidos</b>	Archivadores	○	●
	Equipos de oficina	○	●
	Equipos informáticos	○	●
	Equipo no permanente	○	●
	Objetos de arte y valor	○	●
● Primera causa de daño	○ Causa secundaria		

**CLASIFICACION DE LOS DAÑOS OBSERVADOS [Según diversos postulados]**

**A. [Park, Ang y Wen, 1987] – Aplicando ensayos de laboratorio**

<b>Sin daño</b>	En el peor de los caos se producen pequeñas fisuras en el hormigón
<b>Ligero</b>	Se producen grietas en varios elementos estructurales
<b>Moderado</b>	Agrietamiento Severo. Se observan desprendimientos de hormigón
<b>Severo</b>	Aplastamiento del hormigón. Pérdida de recubrimiento en barras de acero de refuerzo
<b>Colapso</b>	Ruina total

En opinión de **Valuative SAS** la anterior clasificación de daños observados es coincidente con la labor de atención del siniestro, fruto de la obligación de su proceder al presentarse la pérdida, pues describe el estado en que queda el bien luego de ocurrido el evento y dejando en libertad a la Aseguradora, con apoyo de su Ajustador, de tomar la acción que se considere procedente, que incluye el determinar la profundidad de la potencial pérdida y al Asegurado en la obligación de demostrar el monto de su reclamo, con base en el tipo o clase de daño y el requerimiento de ingeniería requerido para reparar o reconstruir el bien.

**B. Petrovski y Bouwkamp [1989] – Basada en la observación y en la disponibilidad de la estructura para ser utilizada después del sismo. Se definen tres categorías aplicables a estructuras de hormigón armado y mampostería estructural.**

<b>Utilizable</b>	Los daños estructurales son leves, lo cual permite que la estructura puede ser utilizada inmediatamente después de ocurrido el sismo.
<b>Temporalmente utilizable</b>	Los daños estructurales varían entre moderados y severos, por lo tanto, la estructura puede estar temporalmente inutilizable.
<b>Completamente</b>	Los daños estructurales son severos. Se puede producir el colapso parcial o total del edificio. La

<b>inutilizables</b>	estructura no puede ser utilizada después del sismo.
----------------------	--

En opinión de **Valuative SAS**, el aplicar los criterios propuestos tiene implicaciones que pueden ir en contravía de las decisiones que suelen adoptar los organismos de atención y prevención de desastres, como IDIGER y otros similares en diferentes ciudades y departamentos de Colombia, donde por lo general la toma de decisión, suele ser la evacuación y abandono temporal (cuando menos), de la edificación.

**C. CLASIFICACION DE ACUERDO A LA REPARACION DE LA ESTRUCTURA**

**Bracci et al. [1989]** y **Stone y Taylor [1993]** describen cuatro estados de daño en función de reparación de la estructura, para ello utilizan la siguiente categorización:

Sin daño o daños leves
Reparable
Irreparable
Colapso

En opinión de **Valuative SAS**, las consideraciones anteriores son demasiado generales y suele ser producto de una experticia el determinar el estado post evento; por tanto, asumir una responsabilidad ante el asegurador o el asegurado afirmando un estado a futuro, puede comprometer a las partes fijando condiciones de futuro taxativas, omitiéndose así la obligatoriedad del Asegurado de consumir la demostración y cuantía del daño.

**CLASIFICACIONES COMBINADAS**

**D. EERI (Earthquake Engineering Research Institute) [1994]** adopta en escala de cinco (5) estados discretos que incluyen los daños no estructurales, el tiempo que permanece fuera de funcionamiento la estructura y el riesgo al que se encuentran expuestos, así:

<b>Sin Daño</b>	
<b>Daño Leve:</b>	Daños menores en elementos no estructurales. La estructura continua funcionando con normalidad en menos de una semana.
<b>Daño Moderado:</b>	Daños no estructurales considerables; se producen pequeños daños estructurales. La estructura puede estar cerrada hasta por tres (3) meses. El riesgo que se produzcan pérdidas de vidas humanas es mínimo.
<b>Daño Severo:</b>	Los daños estructurales aumentan y es posible que la estructura deba estar cerrada por un periodo largo de tiempo. En el peor de los casos puede ser necesario demoler la estructura. Hay un alto riesgo que se produzcan pérdidas de vidas humanas.
<b>Daño Total – Colapso o Muy Severo:</b>	Los daños son irreparables y hay una probabilidad muy alta que se produzcan pérdidas de vidas humanas.

Para este tipo de clasificación, en opinión de **Valuative SAS**, es indudable que se aplican criterios de asertividad total y real, pero a la luz de un reclamo, las obligaciones y derechos de Asegurado y Asegurador, así como el compromiso del Ajustador, deben procurar en lo posible ambigüedades gramaticales tales como *“pequeños daños; cerrada hasta por tres meses; pérdidas de vidas humanas es mínimo; es posible que la estructura deba estar cerrada; hay un alto riesgo de pérdidas de vidas humanas”*; etc., pues expresan pensamientos, propios y de terceros, honestos, pero se alejan de los derechos, obligaciones y responsabilidades de las partes involucradas en el reclamo puro de la pérdida y en consecuencia, opinamos que pese a lo profesional, no es el idóneo en un proceso de atención y ajuste de la pérdida.

**E. ESTUDIO ATC-40** – Este procedimiento está referido al Análisis Estático No Lineal descrito en la publicación *“Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”* [**Evaluación Sísmica y Modernización de Edificios de Concreto**] e incluye la definición de PELIGRO SISMICO donde se reconocen tres niveles de peligro: Sismo de Servicio (SE), Sismo de Diseño (DE) y Sismo Máximo (ME).

Sin duda es interesante su aplicabilidad y criterios para grandes obras de Ingeniería, que si bien incluye edificios, es también dirigido a mega proyectos complejos como Puentes, Túneles, Hidroeléctricas o Centrales de Generación Térmica pues incluye la evaluación de los tres tipos de sismo mencionados.

Por lo tanto, por ahora, consideramos que el estudio ATC-40 está mucho más allá del alcance del presente escrito, pero dejamos su definición para que sea por lo menos conocida por nuestros lectores.

**Sismo de Servicio [SE]:** es definido *probabilísticamente* como un evento con 50% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años y un periodo de retorno de 75 años y representa los sismos frecuentes que experimenta una estructura en su vida útil.

En magnitud, típicamente representa 0,5 veces un sismo de diseño.

**Sismo de Diseño [DE]:** es definido *probabilísticamente* como un evento con 10% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años y un periodo de retorno de 500 años y representa un sismo ocasional que experimenta una estructura en su vida útil.

**Sismo Máximo [ME]:** es definido *determinísticamente* como el nivel máximo de sismo que podría experimentar una estructura. También podría ser calculado como un sismo con 5% de probabilidad de ser excedido en 50 años y un periodo de retronó de 1.000 años. En magnitud es aproximadamente de 1,25 a 1,5 veces el sismo de diseño.

## F. EVALUACION DE CAUSAS DE DAÑO ESPERADO UN SINIESTRO POR SISMO

En lo que toca con nuestra opinión, desde el punto de vista de **VALUATIVE SAS**, los grandes proyectos constructivos están sometidos a tres estimaciones de Pérdida Máxima Probable, de acuerdo con la siguiente definición y criterio:

### EVALUACION DE CAUSAS DE DAÑO ESPERABLE UN SINIESTRO POR SISMO

Tipo de sismo	DESCRIPCIÓN	% Perdida Admisible
SISMO BÁSICO DE OPERACION S.B.O.	Determinado de acuerdo con un análisis probabilístico de efecto conjunto de todos los sismos – fuente importantes para el predio. Para este evento no se espera ni se acepta ningún daño de tipo estructural de la construcción.	[ Máximo 10,0 %]
SISMO MAXIMO PROBABLE S.M.P.	Obtenido de análisis probabilísticos, para el cual se aceptan daños no estructurales y algunos estructurales menores que pueden ser fácilmente reparados.	[ 10,1 % - 50,0 %] Media Esperada 35,0 %
SISMO MAXIMO CREIBLE S.M.C.	Representa el sismo máximo que se podría presentar en la región de ubicación de la estructura. Para éste evento se admiten daños no estructurales y estructurales importantes, pero sin que amenacen la estabilidad global de la estructura y/o sus obras conexas.	[ 50,1 % - 80,0 %] Media Esperada = 65,5%

Donde el mecanismo de cálculo se establece así:

Periodo de Recurrencia = 475 años [PR]  
Probabilidad de Excedencia = 10% [Pe]  
Tiempo de ocurrencia estimado = 50 años [t]  
Probabilidad Anual [PA]

$PA = 1 \div PR = 0,0021 = 0,21\%$   
 $Pe = 1 - (1 - PA)t = 9,99774$  Aproximadamente 10%

**Nota:** Ver nuestra entrega anterior entrega al respecto

Establecidas las condiciones y definiciones básicas de Daño a las que está sometida una construcción, en nuestro caso, predios habitacionales y edificios comerciales y de oficinas, a continuación, hablaremos de los distintos tipos de pérdida en edificaciones, que incluirá los aspectos básicos para determinar por simple inspección el tipo de gravedad que es posible identificar a simple vista durante un proceso de reconocimiento.

## ¿CUÁNDO DEBE PREOCUPAR LA MAGNITUD DE UN TERREMOTO?

**Las consecuencias que pueden dejar los terremotos dependen en gran medida de la cantidad de energía liberada en el epicentro**



FUENTE: PIXABAY

Como primera medida dejemos definido que **NO EXISTE DIFERENCIA**, distinta de la lexicológica entre **SISMO**, **TEMBLOR** o **TERREMOTO**. Nos hemos acostumbrado a que las noticias de un evento, desde el punto de vista de la prensa informativa, califica con estos sustantivos la menor o mayor fuerza con la que un evento sísmico es percibido por las personas, pero es claro que un terremoto se define así:

**TERREMOTO.** La *palabra "terremoto"* viene del latín *terraemotus* y significa "movimiento de la tierra". Sus componentes lexicológicos son: *terra* (tierra) y *motus* (movimiento). ...Se asocia a la raíz proto-indoeuropea *\*ters-* que significa seco. (Diccionario de etimología).

### ANTECEDENTES

Los terremotos, son eventos naturales y alarmantes a la vez. Pueden aparecer con movimientos casi imperceptibles, o causar graves daños y desplazamientos. Pero de lo que no queda duda es que los fenómenos sísmicos siempre provocan expectación.

Los efectos de estos fenómenos dependen de factores como la **profundidad** a la que se produce el movimiento sísmico [**hipocentro**], la distancia entre las personas y el [**epicentro**], y las condiciones geológicas de la zona afectada. Es claro, por los resultados observados, que a partir de **un terremoto de magnitud 5.0 Mw (refiérase el lector a nuestra publicación de Noviembre de 2018), es cuando se pueden registrar daños como «pequeñas grietas en las paredes o estructuras»**. Cuando la escala sube a 8.0 Mw, el terremoto ya es considerado de **gran magnitud**.

Naturalmente, en una gran medida, todo depende de la CALIDAD de las construcciones y su edad, de ahí la importancia de las inspecciones o reconocimientos de los bienes antes de asegurarlos.



Para entender mejor los efectos de estos fenómenos de acuerdo a sus magnitudes y desde el punto de vista de lo que sería el “llamado de atención de los aseguradores”, repasemos las expectativas de percepción y resultado, evaluado según la escala de Magnitud de Momento: (USGS)

<b>Menos de 2.0 Mw</b>	Estos movimientos solo quedan registrados por los sismógrafos. Se producen de manera continua, pero no causan vibraciones perceptibles.
<b>De 3.0 a 3.9 Mw</b>	Son percibidos, pero no provocan daños. Se puede llegar al notar el movimiento de algunos objetos en el interior de los edificios.
<b>De 4.0 a 4.9 Mw</b>	Se considera como un sismo significativo, percibido por la mayor parte de la gente en la zona afectada, aunque es poco probable que se produzcan daños. Puede provocar que se muevan los objetos en el interior de los edificios.
<b>De 5.0 a 5.9 Mw</b>	Todas las personas podrán percibirlo. Los efectos en estructuras son inexistentes o, como mucho, leves. Pero puede ocasionar daños mayores en edificios que estén en mal estado, llegando a provocar algunas víctimas mortales.
<b>De 6.0 a 6.9 Mw</b>	Se percibe en zonas muy amplias, incluso las situadas a varios kilómetros del epicentro. En la zona del epicentro, el movimiento de la tierra es entre fuerte y violento. Suele provocar daños entre en los edificios de mala calidad. Pueden implicar miles de víctimas mortales en función de la zona afectada.
<b>De 7.0 a 7.9 Mw</b>	Daña o afecta la mayoría de los edificios. Algunos pueden quedar totalmente destruidos. Los daños suelen ser significativos en zonas situadas hasta 250 kilómetros del epicentro.
<b>De 8.0 a 8.9 Mw</b>	Los daños son importantes o muy importantes en todos los edificios y estructuras carentes de diseño anti sísmico, y entre moderados e importantes en los edificios más resistentes. Los efectos se dejan sentir en zonas muy amplias.
<b>Desde 9.0 Mw</b>	Provocan una destrucción casi total en zonas muy amplias, con daños muy importantes en todo tipo de edificios. Además, se producen cambios permanentes en la topografía de la zona afectada por el movimiento.

En el caso de Colombia, el Servicio Geológico tiene una tendencia sísmica anual, donde se estima alrededor de **siete** sismos con una magnitud entre 5,0 y 5,9, **uno** entre 6,0 y 6,9, **uno cada cinco años** entre 7,0 y 7,9 y **uno** de magnitud mayor a **8,0** cada treinta años, lo anterior, teniendo en cuenta la relevancia de los eventos de 1906, 1958, 1970, 1979 y 2015. En Marzo de 2015, con ubicación en la Mesa de Los Santos, Santander a las 15:55 hora local se produjo en evento de 6,6 Mw sentido en 20 departamentos del país, además de Venezuela (llegando hasta Caracas y algunas zonas de Panamá).

Sin embargo, retrospectivamente, el Terremoto de Armenia de 1999 [Enero 25 - 6,1 Mw], se considera el más mortífero y destructivo en la historia del país, pues generó cerca de 2.000 personas fallecidas, sin embargo las pérdidas materiales se presentaron en estructuras de muy deficitaria construcción o carentes casi totalmente de condiciones de resistencia sísmica.

Por otra parte, los eventos sísmicos de 1906, 1958 y 1979, registraron magnitudes de 8,8 – 8,1 y 7,9 respectivamente y para el primero, su epicentro estuvo presente en la zona de Tumaco en Nariño (en el océano pacífico) y se catalogó como un Sismo de Subducción [esperemos a futuro hablar sobre estos interesantes temas]. En el caso del sismo de 1906 este ha sido considerado el noveno evento en una relación de los diez terremotos más fuertes desde comienzos del S.XX cuando empezaron a registrarse y medirse técnicamente éstos eventos; por tanto, el país es considerado por los grandes reaseguradores del mundo como de Alto a Muy Alto riesgo por terremoto y consecuentemente también volcánico, pues hacemos parte del cinturón de fuego del Pacífico y que en América arranca en la Patagonia y se extiende por el litoral hasta Alaska.

## LOS DAÑOS PRESENTADOS EN EDIFICACIONES A CONSECUENCIA DE SISMO

En éste escrito nos referiremos exclusivamente a aquellos daños que usualmente pueden definirse como MENORES, aun cuando por obvias razones, para quien los sufre o para quien los evalúa sin una experiencia y conocimiento adecuados, pueden parecer “desastrosos”. Sin embargo obligatoriamente, se encontrarán temas íntimamente ligados a casos mayores.

Ahora bien, que puede considerarse daño menor? Durante los años de “Mercado Asegurado Regulado y controlado por la Superintendencia Bancaria en Colombia, estaba establecido que la Cobertura de

terremoto, en cualquier caso quedaba sometida a un deducible mínimo del **3% calculado sobre el valor asegurable del bien expuesto**, que podría pensarse no era mucho, a no ser que nos viéramos precisados a aplicarlo a bienes de alto costo. Posteriormente dentro del proceso de “apertura del mercado” las cosas cambiaron drásticamente y empezamos a vivir épocas de deducibles del 10% aplicado sobre el valor del siniestro en unos casos, en otros se mantuvo el 3% pero aplicado al valor del reclamo e incluso, en virtud de la competencia y el afán de obtener negocios, se llegó a considerar deducibles CERO o incluso a conformar deducciones en escala dependientes de la cantidad de daño de los bienes. Esto no solo alteró la posición de los reaseguradores, sino a encarecer los costos de contratos de Exceso de Pérdida Catastrófico destinados y estructurados para proteger las retenciones netas de las aseguradoras en Colombia en eventos de multiplicidad de afectaciones, cada una de ellas, con una retención individual y por tanto a un tratamiento diferencial en el tema de tasas del mercado.

De otra parte, se encuentra la opinión de cualquier propietario o usuario de un bien afectado por sismo, con algunas marcas en paredes, pisos, techos o columnas que antes no se apreciaban, consideran (o consideramos), que nuestra propiedad está “apunto de venirse abajo”, generando la natural condición de “ruina” inmediata del predio.

Sin embargo, no necesariamente es así, por ello a continuación trataremos de hablar de las **PÉRDIDAS, DAÑOS O AFECTACIONES NO ESTRUCTURALES EN UNA EDIFICACION.**

### **Cuando se producen daños por sismo en una estructura**

Los daños en las construcciones están relacionados con los tipos de elementos constructivos, materiales empleados, modo de ejecución, subsuelo, topografía etc., donde este último factor desempeña un papel muy importante a la hora de considerar el emplazamiento de una obra en zonas sísmicas, ya que dependiendo de sus características fisiográficas, las ondas sísmicas variarán su comportamiento. Amanera de ejemplo, un sismo originado en el pie de monte oriental de Bogotá tendrá efectos diversos considerando, además de los tipos y calidades constructivas, la zona en la que está construido el bien, pues los terrenos de la ciudad son bastante heterogéneos en lo que a su conformación se refiere (cosa que la mayoría sabemos), pero también a la fenomenología referida a la subsidencia que viene sufriendo la capital.

**Subsidencia: Esta referido al proceso de hundimiento vertical de una cuenca sedimentaria como consecuencia del peso de los sedimentos que se van depositando en ella de una manera progresiva y asociados a las cargas ejercidas por las estructuras que sobre el suelo se aplican por construcción y a la presencia de aguas subterráneas.**

Veamos algunas características:

A. Las ondas sísmicas afectan a las estructuras en función de diferentes características:

- **Ondas de baja frecuencia:** hacen que los edificios altos entren en resonancia, afectando en menor grado a los bajos [Golpeteo]
- **Ondas de alta frecuencia:** afectan sobre todo a las casas bajas y en menor grado a las grandes estructuras
- **Periodo propio del terreno** [observables en los mapas de microzonificación]
- **Periodo fundamental de las estructuras** [mayor tiempo que demora una edificación en repetir su modo de vibración]
- **El mayor daño que se produce en terreno** blando y menos en terreno duro
- **Los edificios altos sufren más daños** que los bajos en suelos blandos y de gran potencia

B. La Patología estructural:

Corresponde al estudio sistemático y ordenado del comportamiento irregular de una estructura o sus elementos, cuando presenta algún tipo de falla o daño, causado por factores internos (defectos constructivos) o externos (por ejemplo sismo) que no garanticen su seguridad.

Los estudios debe adelantarlos un profesional (Patólogo estructural) que incluyen ensayos de laboratorio, toma de muestras para estudios geotécnicos, exploración de cimientos, levantamiento de fisuras y daños, extracción de núcleos, ensayos con esclerómetros y ultrasonido (para verificación de la calidad del concreto utilizado), evaluación del estado de corrosión de aceros, etc., decidiendo si deben o no ser reforzadas, no necesariamente por que amenacen falla o daño estructural, sino porque su tipo de uso así lo exige, acorde con las normas de **NSR-10**

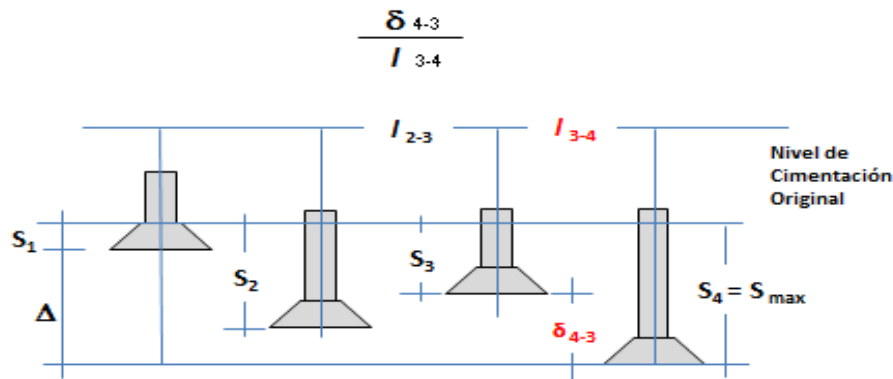
El reforzamiento estructural puede llegar a incluir alternativas como la instalación de Riostras con Pandeo restringido y Conexión Elástica o Placas Elastoplásticas y Riostras Elásticas u otras soluciones, según el estado final de la construcción luego del evento.

### Afectación por Sismo en Edificaciones – Asentamientos [Cimentaciones]

Entendida como la Distorsión Angular  $\beta$  (relación entre asentamiento diferencial entre dos puntos y la distancia horizontal que los separa), así:

$$\frac{\delta s}{l s} = \beta$$

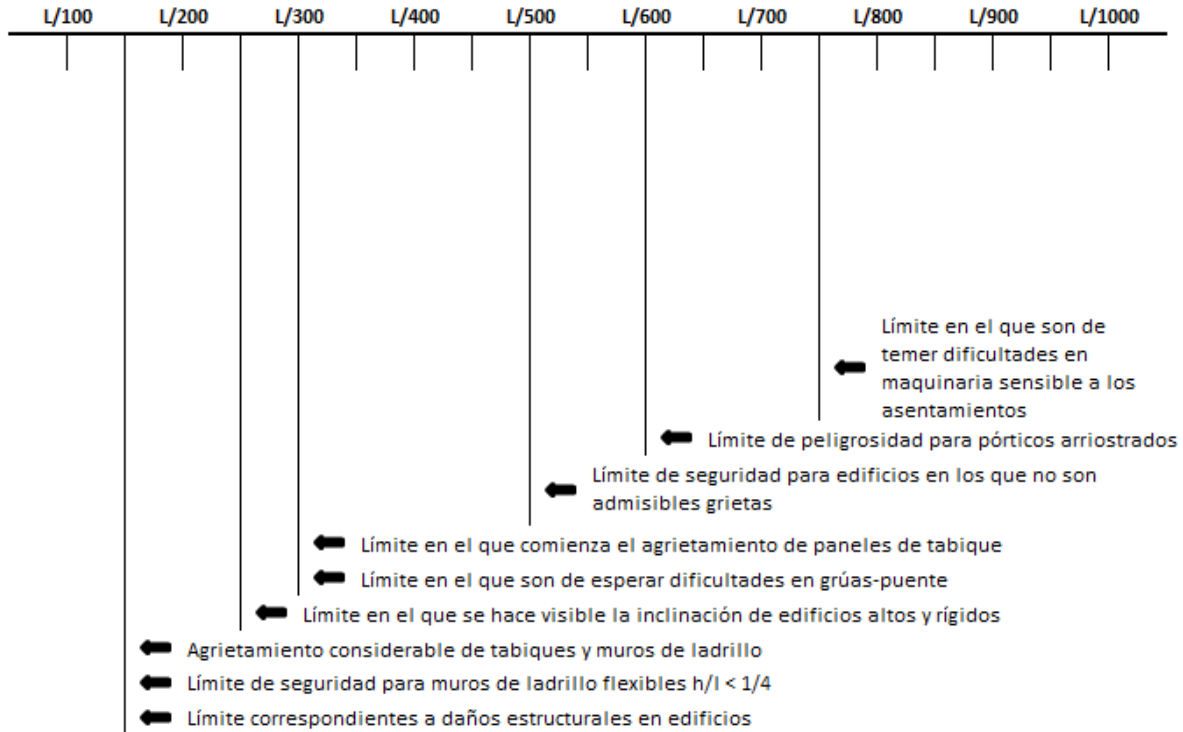
en el ejemplo de la figura, la máxima distorsión angular es:



- $S_{max}$  = asentamiento máximo
- $\Delta$  = máximo asentamiento diferencial ( $S_4 - S_1$ )
- $S_{max}$  = asentamiento diferencial entre soportes contiguos
- $\beta$  = distorsión angular =  $\delta/l$

NOTA: El estado actual de la estructura de una edificación, está basado en aspectos tales como: sismos que la puedan haber afectado, fisuración por cambios de temperatura, corrosión de las armaduras, asentamientos diferenciales, reformas, deflexiones excesivas, estado de elementos de unión y otros aspectos que permitan determinar su estado actual. El estado de la estructura existente debe calificarse como bueno, regular o malo. **Fuente: NSR-10 - Título 10.2.2.2**

Por otra parte, los límites adecuados (no siempre coinciden) a la posible distorsión angular, según el tipo de edificación, también se pueden representar, según **Bjerrum** (1963), así:



Adicionalmente, para el caso de daños atribuidos en la estructura, debe considerarse [NSR-10]:

### A.10.2 — ESTUDIOS E INVESTIGACIONES REQUERIDAS

**A.10.2.1 INFORMACIÓN PREVIA** Deben realizarse investigaciones sobre la construcción existente, tendientes a determinar los siguientes aspectos acerca de ella:

(a) Cuando se disponga de documentos descriptivos del diseño de la estructura y su sistema de cimentación original, debe constatarse en el sitio su concordancia con la construcción tal como se encuentra en el momento. Deben hacerse exploraciones en lugares representativos y dejar constancia del alcance de estas exploraciones.

(b) La calidad de la construcción de la estructura original debe determinarse de una manera cualitativa.

(c) El estado de conservación de la estructura debe evaluarse de una manera cualitativa.

(d) Debe investigarse la estructura con el fin de determinar su estado a través de evidencia de fallas locales, deflexiones excesivas, corrosión de las armaduras y otros indicios de su comportamiento.

(e) Debe investigarse la ocurrencia de asentamientos de la cimentación y su efecto en la estructura.

(f) Debe determinarse la posible ocurrencia en el pasado de eventos extraordinarios que hayan podido afectar la integridad de la estructura, debidos a explosión, incendio, sismo, remodelaciones previas, colocación de acabados que hayan aumentado las cargas, y otras modificaciones.

CATEGORIAS DE DAÑOS EN EDIFICACIONES vs ASENTAMIENTOS			
CATEGORIA DEL DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO	MAXIMO ASENTAMIENTO DEL EDIFICIO	ANCHO APROXIMADO DE LA GRIETA
Daño apenas perceptible	Fisuras finas con espesor equivalente al de un cabello	$s \leq 10$ mm	< 0,1 mm
Daño Muy Ligero	Fisuras que pueden ser tratadas y reparadas fácilmente. Se observan solamente de cerca y en algunas tabiquerías externas	$10 < s \leq 50$ mm	1 mm
Daño Ligero	Grietas que pueden ser rellenadas y reparadas. Grietas visibles externamente en tabiquerías. Las puertas y ventanas manifiestan una ligera trabazón.	$s > 50$ mm	5 mm
Daño Moderado	La grietas requieren cortes especiales y posiblemente se requiere cambiar algunos ladrillos de la tabiquería. Las puertas y ventanas manifiestan dificultad al abrir y cerrar. Se facturan las tuberías de servicios públicos.	$s \gg 50$ mm	5 - 15 mm
Daño Severo	Se requieren reparaciones extensas en tabiquerías. Los marcos de las puertas y las ventanas se deforman. La planeidad de los pisos se pierde. Algunas vigas se deforman en forma importante y pierden su capacidad de carga. Se interrumpen funcionalmente las tuberías de servicios públicos.	$s \gg 50$ mm	15 - 25 mm función del número de las grietas
Daño Muy Severo	Se requieren reparaciones mayores que involucron una total o reconstrucción. Todas las vigas pierden su capacidad de carga. Las paredes se inclinan. Las ventanas se rompen por la distorsión angular y hay peligro de inestabilidad o colapso en estructuras.	$s \gg 50$ mm	Grietas > 25 mm función del número de las mismas

FUENTE: Tópicos de Ingeniería - Gianfranco Perri - 2012

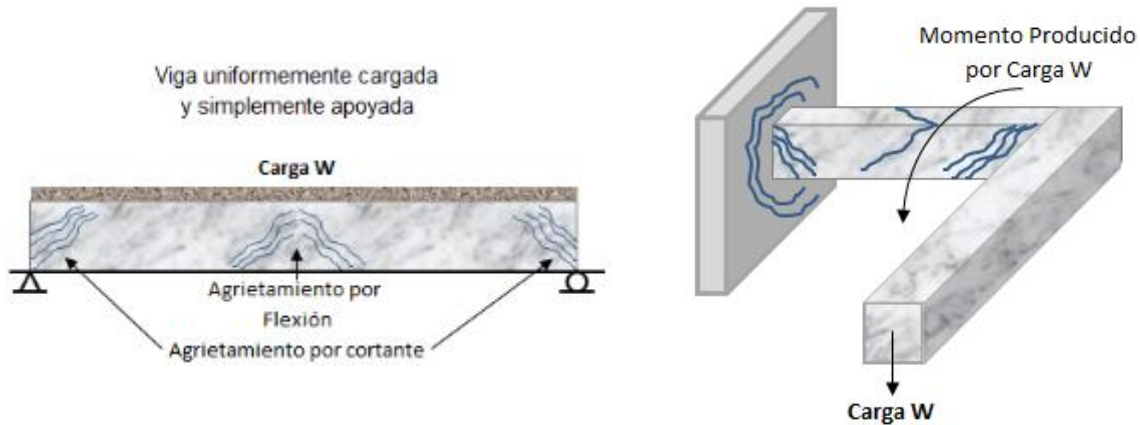
El comportamiento de los suelos y el consecuente asentamiento, originan grietas debidas a la falta de sustentación o por un mal diseño de la estructura de cimentación al producirse un movimiento no uniforme de la edificación al nivel del terreno. A diferencia de las estructurales, estas grietas casi nunca se asocian con el colapso parcial o total de una edificación.

Los agrietamientos de edificios tienen diferentes causas, las cuales pueden agruparse de la siguiente manera:

- ✓ **Grietas Estructurales**
- ✓ **Grietas por Asentamiento**
- ✓ **Grietas Térmicas**
- ✓ **Grietas por Fraguado**

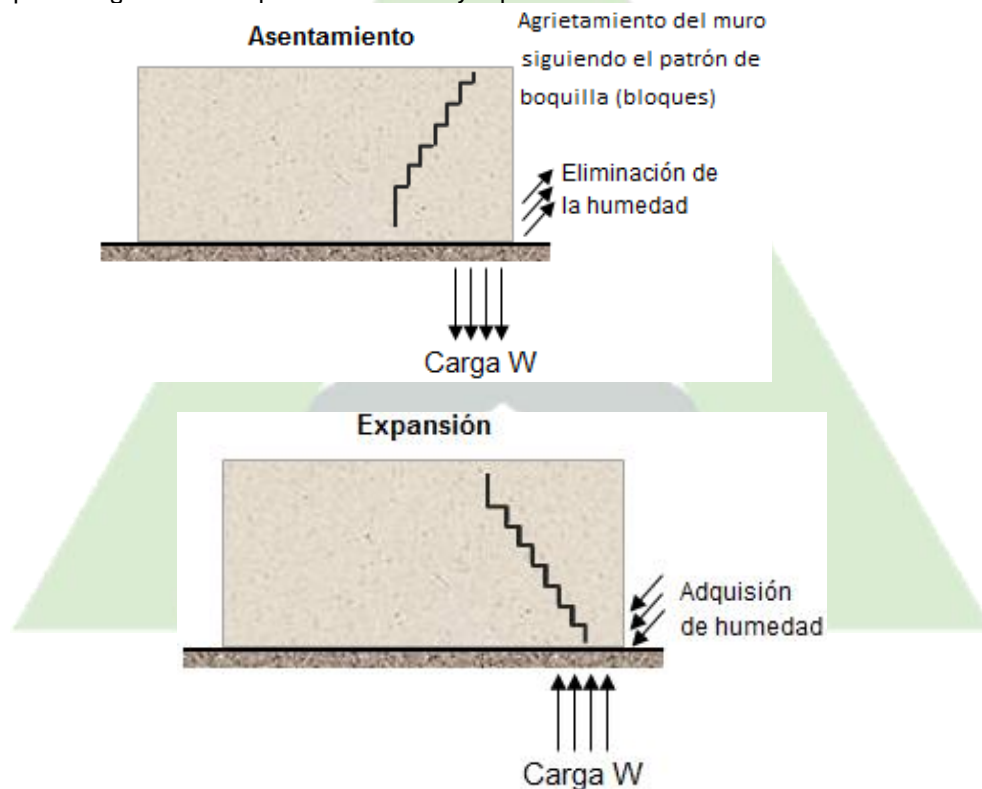
Las grietas estructurales surgen por análisis y diseños defectuosos y se manifiestan en las zonas de esfuerzo cortante, momento o torsión; si la estructura no cuenta con restricciones suficientes para aliviar la concentración de esfuerzos en tales zonas, la grieta se puede convertir en una falla catastrófica de no tomarse medidas adecuadas (recordemos el caso de la **Torre 6 del Edificio Space**).

Para el efecto, a continuación, se muestran algunos gráficos obtenidos de estudios de Reconocimiento, Prevención y Corrección de grietas ocasionadas en edificaciones por movimientos del subsuelo, generalmente a consecuencia de sismos o el asentamiento de cimentaciones producidos por ellos.

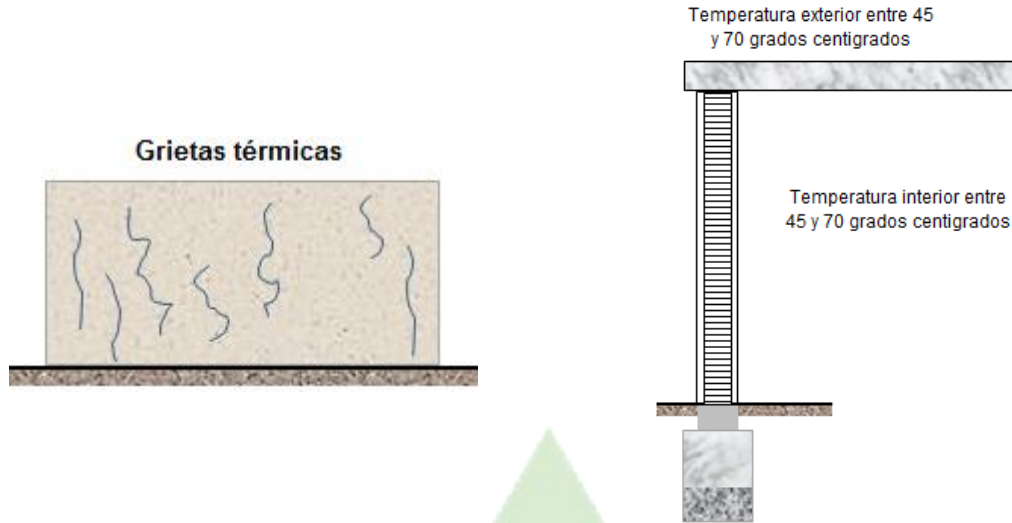


Las grietas por asentamiento se originan por una falta de sustentación del suelo de apoyo o por un mal diseño de la estructura de cimentación, lo cual ocasiona un movimiento no uniforme de la edificación en su nivel de desplante [que empieza desde los cimientos o donde inicia la columna]. A diferencia de las estructurales, estas grietas casi nunca se asocian con el colapso parcial o total de la edificación.

Dos ejemplos de agrietamiento por asentamiento y expansión afectando muros se ven a continuación:



Por otra parte, las grietas térmicas obedecen a diferencias de temperatura entre el interior y el exterior de la construcción como se ve a continuación. El efecto se minimiza con el adecuado aislamiento, de lo contrario existirá un error de diseño.



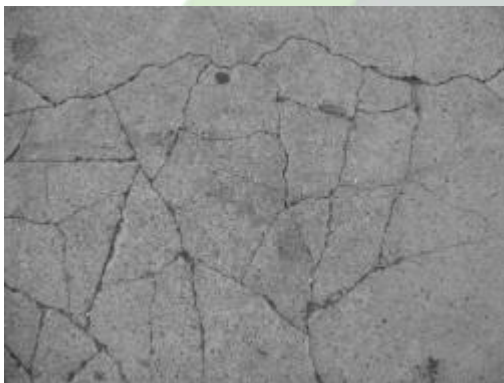
### Efectos de los árboles

En las áreas cubiertas por pasto, el efecto de evaporación de las arcillas activas está confinado de 1 a 1,5 metros de profundidad del suelo. Sin embargo, dónde existen árboles o arbustos grandes, la humedad se puede extraer desde profundidades de 6 metros o más. Durante las lluvias, después de un periodo relativamente seco, las arcillas de alta plasticidad, que tienden a ser de baja permeabilidad, no pueden abastecerse de la humedad removida por los árboles grandes durante la temporada seca; por lo tanto, una zona de permanente deshidratación ocurre en sitios poblados por árboles grandes que desarrollan raíces a gran profundidad.

El desarrollo de estos casos se da donde el clima es benévolo y permite el crecimiento de árboles de gran tamaño, por lo que sus raíces crecen a lo ancho y profundo en su zona de deshidratación, produciendo más asentamientos, los cuales afectan cualquier estructura cercana.

### Las grietas por fraguado

Las grietas de fraguado, causadas por el proceso químico de endurecimiento del concreto, pueden evitarse mediante aditivos especiales o reforzando el elemento estructural. Esta condición solo es evaluable en caso de revisarse las características constructivas aplicadas o en estudio forense requerido luego de un evento por sismo o fuego. Presentan un comportamiento similar al siguiente, cuando son visibles:



Es de tener en cuenta que desde el punto de vista de coberturas por sismo, las cimentaciones están sometidas a movimientos horizontales, transversales y verticales y por tanto estos movimientos son descritos como naturales del suelo en sus especificaciones de hundimiento, desplazamiento y asentamientos normales no repentinos y usualmente no son asegurable. Es preciso recordar también que la cobertura de terremoto no contempla proteger por pérdidas presentadas a terrenos, cimientos y estructuras bajo el nivel del piso más bajo, ni tampoco los ocasionados por vibraciones o movimientos naturales del suelo, como el hundimiento, desplazamiento y/o asentamientos normales no repentinos, a menos que se originen en terremoto, temblor y/o erupción volcánica.

Otro tema, más allá del alcance del presente escrito está vinculado con la problemática de suelos y terrenos, ya que estos están sometidos a factores naturales de ajuste por asentamiento, humedad o la presencia de arcillas (usualmente con diámetros de 0,002 mm), lo que las hace altamente susceptibles a movimientos normales no repentinos, pudiendo generar daños importantes en estructuras.

### ¿GRIETA / FISURA O DAÑO ESTRUCTURAL?

Los elementos estructurales son aquellos que realmente proporcionan soporte a una edificación, mientras que los elementos no estructurales se refieren a los muros divisorios, pero no de carga, o bien aquellos que funcionan como elemento de arquitectura estética.

Las grietas o fisuras que presentan los muros divisorios no son daños estructurales, incluso si se vienen abajo. Por supuesto que requieren de reparación pero no condicionan la estructura del inmueble.

### ¿EN QUE MOMENTO LAS GRIETAS DEBEN GENERAR PREOCUPACION?

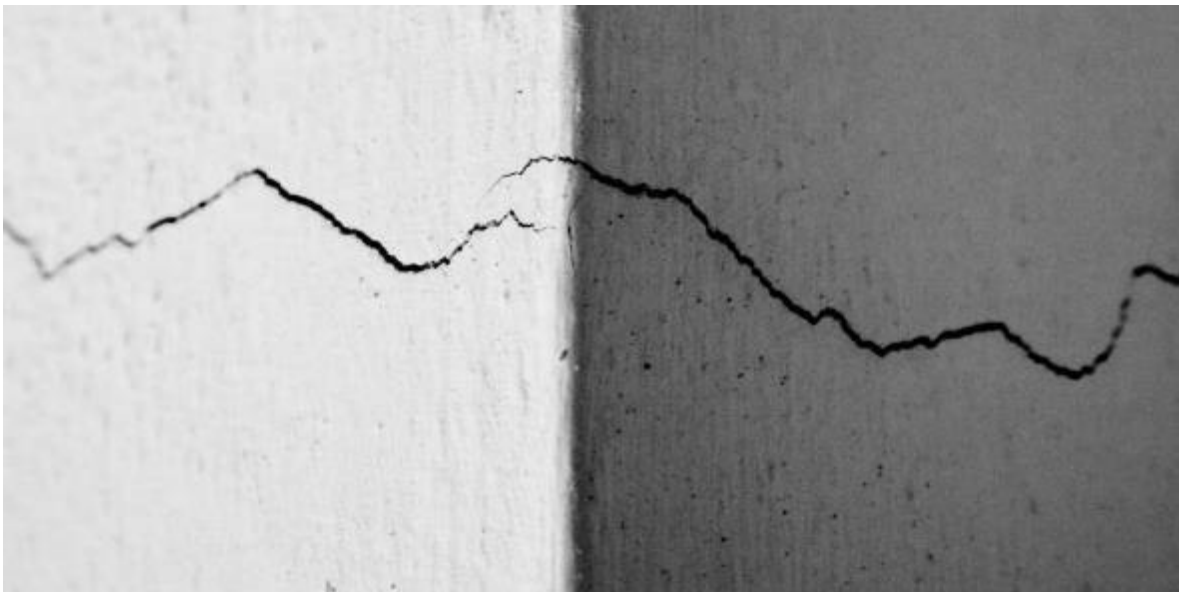
Las **grietas en muros y columnas** son más preocupantes que los **desprendimientos de losas en el techo o suelo**.

Es importante saber que el movimiento sísmico hace que las estructuras se deformen, y esas deformaciones de las estructuras se traducen, cuando son materiales como la mampostería, en pequeñas grietas cuando el desplazamiento es relativamente pequeño.

Tal es el caso, cuando en los muros se presentan **fisuras pequeñas (de espesores muy bajos), resulta admisible determinar que no hay mayor peligro**, lo único que hay que hacer es recuperar la apariencia del muro original.

Cuando un sismo provoca el movimiento de la estructura, la interacción entre la estructura de concreto y los muros de mampostería hacen que se presenten fisuras verticales en el contacto entre columna y muro, o incluso sobre el mismo muro.

Las grietas que **verdaderamente son preocupantes**, son aquellas que cruzan un muro divisorio interno en forma de X, lo cual no significa un compromiso estructural, pero si es menester una intervención profesional que lo asevere, pues cabe la posibilidad de un daño "oculto" en elementos portantes.





## DIFERENCIA ENTRE GRIETA Y FISURA

**Fisura:** es una abertura pequeña, que solo es superficial y poco profunda.

**Grieta:** es una abertura más profunda de mayor dimensión (longitud y anchura) que generalmente afecta todo el espesor del material (Pañetes, Ladrillo, Cielorraso, Losas, e incluso la posibilidad de fractura de armaduras, etc.).

## POR QUE SE PRODUCEN GRIETAS Y FISURAS EN MUROS

Las causas son variadas, dependiendo donde se encuentren. Por ejemplo, pueden provocarse por movimientos debido a asentamientos de terreno, también por efecto de cargas no calculadas en el proyecto, o por efectos del agua y/o temperatura, otras por deficiente armadura de sostén o movimiento de estos elementos.

Sin embargo, las **grietas estructurales**, que afectan directamente vigas, trabes, columnas y cualquier otro elemento estructural, requieren de una intervención profesional para efectos de diagnóstico y tratamiento.

Por el contrario las **grietas no estructurales**, usualmente son originadas por procesos de fraguado y endurecimiento del concreto, mala ejecución, escasos recubrimientos, o fallas durante el vertido o el curado.

## GRIETAS EN EL HORMIGON

Las hendiduras, clasificadas de acuerdo al espesor de sus fisuras, fracturas o grietas, son áreas patológicas que afectan la industria de la construcción y pueden interferir negativamente con la estética, durabilidad y, principalmente, con las características estructurales de una obra. Ocurren en cualquier parte, pero especialmente en muros, vigas, columnas y losas y son usualmente causadas por tensiones no previstas en los proyectos.

Las fisuras normalmente son de menor gravedad. En general, aparecen más en la superficie de la parte estructural. Son estrechas o alargadas, con aberturas de menos de 0,5 mm. A veces no son visibles a simple vista. Generalmente, no implican problemas estructurales, pero pueden provocar consecuencias más graves. Es importante notar si la fisura evoluciona con el tiempo o permanece estable, porque puede ser la primera etapa de la fractura y de la grieta.

Las fracturas son aberturas más acentuadas y profundas, de 0.5 a 1.5 mm. Pueden ser visualizadas a simple vista y son mucho más peligrosas que las fisuras porque la ruptura del elemento estructural ya ha ocurrido y puede afectar la seguridad de la pieza.

Las grietas son ranuras con aberturas mayores de 1.5 mm, profundas y bien marcadas. Con esta magnitud permiten que el aire y el agua penetren al interior de la pieza, lo que requiere de atención inmediata. Pueden causar corrosión de la armadura o reacciones químicas no deseadas en el material. No se deben cerrar simplemente sin buscar las causas y solucionar el problema que lo causó.

## COMO RECONOCER DAÑOS SIMPLES

*Es importante destacar que ésta información no debe ser usada para descartar daños, sería una irresponsabilidad confiar en una simple guía informativa para tales efectos. Está más orientada a ver en qué casos es imperativo recurrir a un ingeniero estructural y de ser posible Patólogo o Forense para que lo evalúe, aclarando cuáles son los mayores peligros. Como se ha dicho reiteradamente, un daño que se ve grande puede ser insignificante, y un daño que se ve pequeño puede ser importante.*

**Consideraciones generales:**

Los sismos someten a las edificaciones a distintas fuerzas para las cuales pueden estar o no preparados. De esta forma pueden generar daños estructurales y daños no estructurales que pueden ser peligrosos para los ocupantes. El primero compromete el esqueleto del inmueble pudiendo provocar derrumbes parciales o totales, y el segundo, por caída de materiales.

Generalmente después de un sismo se suceden varias réplicas. Aun siendo de menor magnitud, éstas actúan sobre estructuras o materiales que han sido deteriorados o están inestables, por lo cual es muy importante hacer una revisión de la edificación.

#### **Revisión externa:**

Lo primero es revisar el **hundimiento** y la **inclinación del inmueble**.

El inmueble no debe estar hundido, pues indicaría que el suelo no es resistente. De la misma forma no debería haber grietas grandes en el terreno o movimiento del suelo. Tampoco debe estar inclinado. Para revisar la inclinación se ata un objeto pegado a un cordel en la parte más alta del muro, y el cordel cae. En un muro de 2,3 m de alto la inclinación no debiera ser mayor a 4 mm. Si la inclinación es mayor, se debe abandonar el inmueble hasta que sea revisado, sobre todo si es de más de un piso.

#### **Revisión interna:**

Si la inclinación no presenta problemas, se procede a **revisar el interior del inmueble**. Es importante saber que hay elementos diseñados para soportar el peso de las estructuras y otros que sólo sirven para aislaciones o separaciones estéticas. Los **elementos estructurales** importantes son los muros, losas, columnas y vigas de hormigón armado que la mayoría de las edificaciones tienen. Estos elementos no deben estar alterados. Si lo están, transforman el edificio en inseguro en diferentes grados. Los elementos no estructurales son los tabiques que pueden ser de yeso, u otros. En caso que no se tengan elementos de hormigón armado, hay que diferenciar entre casas de mampostería, adobe, madera u otros materiales.

#### **INMUEBLES DE HORMIGON:**

Los tabiques suenan huecos al golpear la pared con los nudillos, los muros son sólidos, se notan “reellenos” al golpear. Las **grietas en tabiques** no importan pues no sostienen nada y no revisten ningún problema para la estabilidad de la estructura. Es importante saber que es normal que se agrieten, pues ayudan al edificio a disipar la energía. De la misma forma tampoco importan las grietas verticales u horizontales en un muro en **donde se divide en muro sólido y tabique**, esto es debido a la diferencia de flexibilidad de los materiales. Para comprobarlo, golpear con los nudillos o con un martillo a cada lado de la grieta, a 2 cm. de distancia. A un lado debiera sonar hueco y al otro no.

Aun así, si las grietas son muy pronunciadas, es recomendable no permanecer junto a ellas. Las réplicas pueden hacer caer el material y afectar a las personas. Esta misma precaución debe tomarse con otros **elementos de fachada que se vean en peligro de derrumbe**, como vidrios, chimeneas, techos falsos o balcones.

**Las grietas son importantes cuando están en elementos o muros estructurales.**

**Cómo se reconoce un muro estructural:** Conviene buscar el plano estructural del inmueble, ahí sale claro. Estos planos normalmente están en la municipalidad. Si no se tiene este plano, de forma general fíjese en lo siguiente:

**Casas de concreto:** Las columnas, vigas, muros y losas de entrepiso.

**En edificios:** Además de los anteriores, muros que rodean los ascensores y separan departamentos.

Las **vigas y columnas** no deben estar dañadas pues son los elementos que sostienen la estructura. Si están dañadas, la avería puede ser de rajaduras o grietas del concreto o a exposición del hierro (armadura). Si el hierro se ve, indica daño muy severo, sobre todo si están cortados o doblados. En el caso de una casa de un piso, es conveniente no habitar la zona cercana a la falla, si es de más de un piso o un edificio, es recomendable abandonar el inmueble hasta que sea revisado. En caso de que no se vean hierros a simple vista pero haya una grieta importante, es conveniente revisar con un alfiler a través de la grieta, si la armadura está expuesta.

Tampoco es buen síntoma, si una columna presenta grietas horizontales en los extremos superior e inferior.

En los muros estructurales las **grietas diagonales** son las más peligrosas. Una grieta con forma de **X** necesita una revisión urgente. Este tipo de daño suele ser reparable, a diferencia de los problemas en las armaduras.

Los muros estructurales pueden agrietarse en diferentes magnitudes. Una grieta menor a 2 mm suele no ser peligrosa a menos que sea generalizada, en ese caso se debe pedir una evaluación. Si la grieta es de entre 2 mm y 5 mm se recomienda reparar la grieta rellenándola. Si es generalizada en muchos lugares, se recomienda no habitarla hasta que sea revisada. Si es de 5 mm a 1 cm, se recomienda no habitar la zona cercana al daño, y ver si se puede reparar inmediatamente. En caso que la grieta sea mayor a 1 cm, se recomienda abandonar el inmueble hasta que sea revisado.

En las **losas** de los techos se debe observar si hay grietas oblicuas o diagonales desde las esquinas hacia el centro, eso es también mala señal, pero son fácilmente reparables. Si las grietas o fisuras en las losas del techo son paralelas a las ventanas, vigas o cadenas, entonces puede ser estuco o recubrimiento, y por lo general no representa daño.

**En el caso de edificios**, es imprescindible revisar los cajones de los ascensores, los primeros 5 pisos y los primeros dos subterráneos. Cualquier daño en esos pisos o en los muros de los ascensores debe ser revisado urgentemente. Si hay grietas diagonales en los muros de los ascensores o columnas de los subterráneos y 5 primeros pisos, es conveniente evacuar el edificio de inmediato. En cualquier otro caso, es necesario llamar a una evaluación lo antes posible. Las grietas en los muros perimetrales que no comprometan otras estructuras como columnas, no son señal de daño estructural porque no están pensadas para resistir el peso del edificio, solo son muros para espacios. Pero deben ser reparados.

## RIESGOS RESIDENCIALES

Para las casas de mampostería en general se deben tener las mismas consideraciones que para inmuebles de hormigón, en cuanto a daño de vigas, columnas o tamaño de grietas en muros.

Es importante notar que, si los muros de mampostería están bien hechos, las grietas debieran ser verticales y a cierta distancia de los extremos. Si hay grietas diagonales, indica que el muro no ha soportado bien las fuerzas horizontales y debe ser reparado. En el caso de casas de ladrillo tampoco debe haber grietas en las esquinas, pues es donde suele estar la armadura.

En el caso de **casas de adobe (llegado el caso**, como por ejemplo en ciudades como Popayán, Armenia, Villavicencio y algunas otras, así como fincas de recreo) éste suele ser rígido y no resistir bien los distintos tipos de fuerzas que provoca un terremoto. Más aún, es importante mantener en cuenta para futuras réplicas que a diferencia de otros materiales, el adobe **no se deforma antes de colapsar**, sino lo hace de forma repentina. Es por lo anterior que siempre deben considerarse vulnerables sísmicamente.

Si los muros tienen fisuras menores a 0,5 mm (medio milímetro) habitar con precaución y reparar las fisuras posteriormente. Si los muros tienen fisuras mayores a medio milímetro evitar habitar la zona de la casa involucrada, si la situación es general no habitar la casa.

En el caso de casas de madera, se recomienda no habitar la casa si se ven roturas en vigas o columnas, o si hay daños en más del 20% de los muros de la casa.

## IDENTIFICACIÓN DE LOS DAÑOS ESTRUCTURALES PROVOCADOS POR LOS SISMOS

Identificación del grupo al que corresponde la estructura conforme al criterio de Valuative SAS.

Lo primero que se debe determinar al realizar una evaluación post-sísmica en las edificaciones, es el grupo a que pertenece según la clasificación que aquí se distinguen dos tipos de edificaciones: las del Grupo A y las del Grupo B que a su vez se divide en dos subgrupos, Subgrupo B1 y Subgrupo B2. edificaciones: las del Grupo A y las del Grupo B que a su vez se divide en dos subgrupos, Subgrupo B1 y Subgrupo B2.

Al Grupo A corresponden las edificaciones que alberguen sustancias tóxicas, además aquellas como hospitales, escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas, museos, y edificios que alojen archivos o documentos históricos.

En el Subgrupo B1 se encuentran las edificaciones comunes como oficinas, viviendas, hoteles y lugares de reuniones que alojen a más de 200 personas, que se ubiquen en la zona I y II y que tengan más de 30 m. de altura, o más de 6 000 m<sup>2</sup> construidos, además las desplazadas en la Zona de Lago (Zona III) con más de 15 m. de altura o más de 3 000 m<sup>2</sup> construidos.

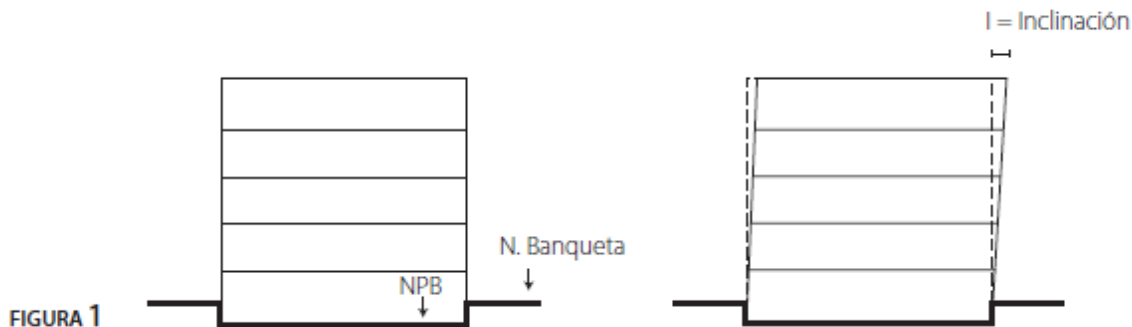
Para las del Subgrupo B-2 solo indica “Las demás de este grupo” es decir, las que no estén incluidas en los artículos anteriores.

Una vez identificado el grupo a que pertenece la edificación, y si esta perteneciera al Grupo A, se deberá evaluar de manera rápida y reportarla al organismo institucional que este coordinando los trabajos de evaluación para que proceda a realizar una evaluación detallada.

En el caso de los edificios concernientes al Grupo B, el reporte de los resultados de la evaluación rápida será entregado a los habitantes del edificio, para que en función de este se habite con seguridad o bien se proceda a desalojarlo, contratando de manera inmediata a especialistas en el ramo, o solicitando a las instituciones públicas correspondientes, que realicen una evaluación detallada y determinen los trabajos de reestructuración necesarios para reestablecer las condiciones de seguridad.

### **Inspección ocular desde el exterior. Inspección del suelo.**

Una vez determinada la clasificación del edificio deberán observarse las posibles fallas del terreno, así como de los pavimentos y banquetas, existentes alrededor de la edificación, las cuales se pueden manifestar como agrietamientos, hundimiento o abultamientos. En los dos últimos casos provocan asentamientos del edificio, el cual puede ser uniforme o diferencial. El último ocasiona el desplome de los edificios



### **Identificación particular del sistema estructural.**

Una segunda acción a efectuar es la de identificar el sistema estructural de la edificación, el tipo de entrepisos y cubiertas, los elementos verticales de apoyo: muros de carga, marcos de concreto o acero, o bien si el sistema es mixto a base de muros de carga y marcos.

#### **Desprendimientos o derrumbes.**

Desde el exterior se deben observar los posibles desprendimientos de algunos elementos no estructurales, tales como vidrios, recubrimientos, balaustradas, o bien derrumbes de otros como balcones o muros divisorios, detectando, además, aquellos elementos que estén en posibilidad de desprenderse y que puedan ocasionar algún riesgo para las personas que transitan, ante los cuales, se debe emitir la recomendación de su desprendimiento o demolición.

De igual manera es conveniente observar la rotura de vidrios y la probable deformación de la cancelaria, lo que puede ser indicativo de la inclinación de los elementos estructurales.

#### **Observación de la estabilidad de la edificación.**

Colocándose en la acera de enfrente del edificio objeto del análisis, es posible identificar a simple vista los posibles desplomes de la edificación sea por emersión o asentamiento, lo mismo se puede ver de las edificaciones colindantes, hecho que deberá contrastarse con lo enunciado en la normatividad al respecto, tomando como referencia lo siguiente:

$$\text{Parámetro de medición} = a = 100 / (100 + 3 h)$$

h = altura del edificio

Valoración: Aceptable si  $\% I < a$

I = inclinación del edificio

De riesgo si  $\% I > 1.5 a$

[Ver figura 1]

#### **Identificación de daños estructurales.**

Continuando en el exterior es posible observar si los elementos estructurales que componen las fachadas sean muros, columnas o travesaños, han sufrido algunos daños a causa del sismo. Adelante al referirse a la observación del interior, se detallarán los daños que un sismo puede ocasionar sobre los elementos estructurales mencionados, indicando además la gravedad de estos.

#### **Inspección ocular en el interior**

La inspección ocular en el interior solo podrá realizarse si como producto del análisis desde el exterior, se determinan las condiciones de seguridad necesarias para poder acceder al edificio, esto es, si no existen desplomes considerables de la edificación, deformaciones perceptibles de los elementos estructurales o derrumbes perceptibles de ellos. De no ocurrir lo anterior se podrá entrar con confianza al interior del edificio y realizar la inspección.

#### **Observación de los pisos.**

En cuanto a los pisos del edificio, si ya se detectaron algunas fallas en el suelo en la inspección exterior, es de esperarse la correspondencia con las del interior.

Las deformaciones en el piso pueden ser las mismas que se enunciaron para el suelo, es decir, pueden presentarse agrietamientos, hundimientos o abultamientos. En general habrá una relación estrecha de la falla de los pisos con los muros.

Tanto los abultamientos o hundimientos pueden ser bruscos o leves. Cuando son bruscos aparecen a simple vista, en cambio los leves pueden no ser detectados fácilmente, pero si existe una grieta diagonal en alguno de los muros, seguramente existe un asentamiento del terreno.

En el caso de una falla por hundimiento leve y para detectar la dirección de este, es posible hacerlo dejando rodar una canica.

#### **Observación de los muros.**

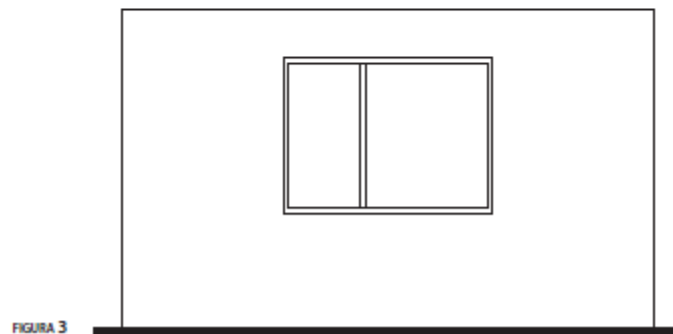
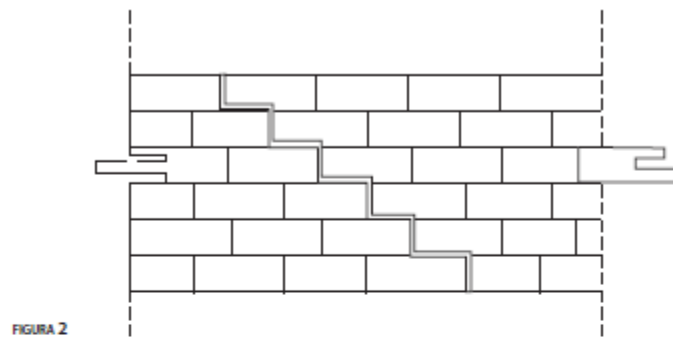
Los sistemas estructurales a base muros de carga tienen un comportamiento eficiente ante los sismos, sus fallas son debidas principalmente a los asentamientos o abultamientos de los terrenos, así como a sobrecargas producidas por acción de acción dinámica de estas.

En general los muros que componen este tipo de sistema estructural son muros de mampostería, es decir hechos de piezas pequeñas, por lo tanto, es conveniente en principio, determinar el tipo de material del que está constituido el muro. En el caso de piezas macizas deberá desprenderse el recubrimiento para detectar la magnitud del daño. Si el muro estuviera constituido por piezas huecas con acabado integral (block vidriado) el daño, en caso de tenerlo, está a la vista y su identificación es inmediata.

Para el tipo de muros de mampostería hechos con piezas macizas, la normatividad específica que deben estar debidamente confinados con cadenas y castillos de concreto armado.

Para el caso de las piezas huecas se indica la colocación de castillos ahogados en sus huecos. En ambos casos es imprescindible determinar si existe el confinamiento reglamentario.

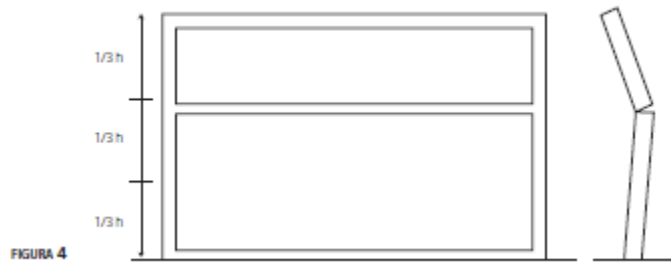
La ubicación de los castillos de las piezas huecas se puede determinar mediante el golpeteo en el muro. Lo anterior es importante porque en ocasiones la falla en los muros se debe a un confinamiento inadecuado, que se traduce en un deslizamiento horizontal de las piezas y ocasiona cuarteadoras escalonadas acordes con las juntas de la mampostería (fig. 2). Por esta misma razón, también pueden aparecer grietas diagonales en las ventanas (fig. 3).



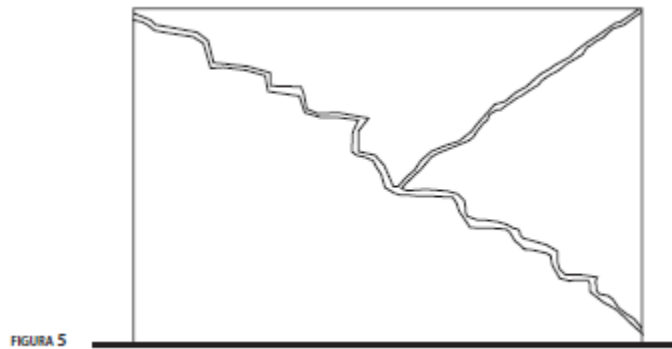
De las grietas existentes en los muros, hay que distinguir su ubicación y dirección lo cual será indicativo del tipo de acción que provoco la falla.

Las grietas pueden no ocurrir en el muro y ser únicamente en los aplanados, por lo que se recomienda retirar el acabado en el lugar donde se perciba una cuarteadura y revisar si el daño aparece también en el muro, de aparecer se considerara como daño estructural.

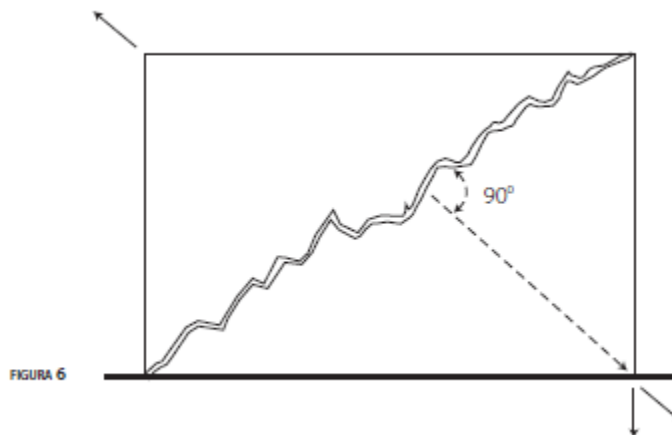
Un muro cuya grieta es horizontal y se ubica a la mitad o dentro del tercio medio de su altura, es un muro afectado por una sobre carga sísmica que lo obliga a ejercer un esfuerzo de flexión o pandeo, acción para la cual el muro de mampostería no está preparado para resistir y queda en posibilidad de que ante una réplica del temblor pueda colapsar (fig. 4). La falla puede ser provocada por un desequilibrio de muros de cortante en el sentido perpendicular al muro que presenta la grieta. Ante una situación como la descrita se recomendará que se proceda de inmediato a descargar el muro apuntalando la cubierta o cubiertas que en el se apoyen procediendo posteriormente a su demolición y sustitución.



Pueden aparecer en los muros una combinación de una grieta diagonal en un sentido y en el otro una grieta que sigue la dirección de las juntas de la mampostería. En este caso se puede suponer que el muro fue sometido a un esfuerzo cortante alto, y a diferencia del muro que fue sujeto a la flexión no representa peligro de colapso ante una repetición inmediata de otro sismo, sin embargo, se debe de recomendar su reparación lo mas pronto posible (fig. 5).



Es común también encontrar fisuras que corren diagonalmente a lo largo del muro. En este caso lo que se produce es un esfuerzo de tensión diagonal, generalmente ocasionado por un asentamiento de la construcción por falla del terreno. El asentamiento deberá buscarse en el punto que señale una perpendicular a la dirección de la grieta (fig. 6).



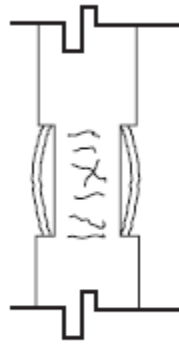
**Sistema estructural con marcos de concreto armado.**

Los danos que un sismo puede provocar a un sistema estructural a base de marcos de concreto armado, suelen ser tanto en las columnas como en las trabes, puede ser en uno o en otro o bien en ambos. Generalmente se recomienda que el análisis de los danos ocurridos se registre para cada uno de los elementos por separado, sin embargo deberá hacerse una evaluación final que considere por una parte el comportamiento del marco como una unidad, así como el sistema estructural en su conjunto.

#### **Observación de las columnas.**

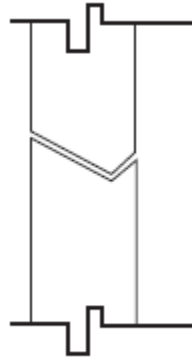
Un daño común en las columnas de concreto armado es el desprendimiento del recubrimiento y el pandeo del refuerzo longitudinal, lo cual generalmente es perceptible a la vista. Esta deformación es característica de las columnas largas, es decir, aquellas cuya altura es mayor a diez veces su ancho menor o su diámetro, ya que estas pueden estar sometidas al esfuerzo de flexión o pandeo, causa principal de este daño (fig. 7).

FIGURA 7



Otro tipo de grietas que pueden aparecer en las columnas son aquellas que se presentan en forma diagonal sobre dos de las caras paralelas de la columna, ubicadas en el tercio medio de su altura. Esta falla se puede adjudicar a la acción de esfuerzo cortante y es factible de que le suceda a las columnas cortas, o sea, aquellas cuya altura es igual o menor a diez veces su ancho menor o su diámetro (fig. 8).

FIGURA 8



Cuando en los dos paños de la columna aparecen una sucesión de pequeñas grietas paralelas y a todo lo largo de columna se puede hablar de un deslizamiento del acero refuerzo, fallando la adherencia de este con el concreto (fig. 9).



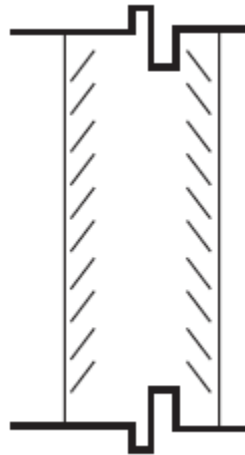


FIGURA 9

En el caso del daño en las columnas la evaluación será integral y deberá considerarse el porcentaje de columnas dañadas tomando en cuenta la totalidad de ellas en el sistema estructural.

**Observación de las trabes.**

Al igual que en las columnas, las fallas en las trabes se pueden distinguir a partir de las grietas, observando su ubicación, dirección y la gravedad del daño que estará en función de su espesor y profundidad. De este modo se puede encontrar un primer tipo de fisuras verticales ubicadas la parte superior de los cuartos extremos del claro que libra el elemento, o bien, en la parte baja del medio central, inducidas por el esfuerzo de flexión al que fue sujeta la trabe durante el temblor, lo que no soportó y se produjo una deformación plástica (fig. 10).

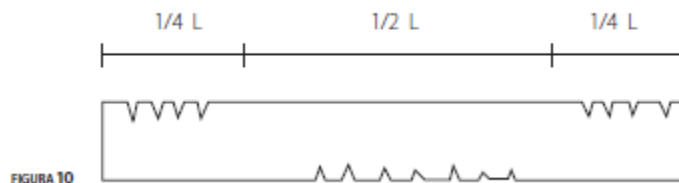


FIGURA 10

Cuando en los extremos de las vigas se detectan grietas diagonales, la falla se puede atribuir al esfuerzo cortante sobre la pieza estructural (fig. 11).



FIGURA 11

También las vigas pueden presentar grietas pequeñas, ubicadas de manera paralela, correspondientes con la ubicación del acero de refuerzo estructural, lo que indicaría una falla por adherencia del acero con el concreto (fig. 12).



FIGURA 12

**Observación de la unión entre viga y columna.**

Es común encontrar en la unión entre viga y columna fisuras diagonales, provocadas por esfuerzo cortante (fig. 13). En los sismos del 85 en México, este tipo de grietas fue frecuente en diversos edificios

estructurados a base de marcos de concreto, la razón de este hecho se debe a que la normatividad anterior no exigía que el núcleo de la unión se reforzara para absorber el esfuerzo cortante, es decir, en la unión solo pasaba el acero de refuerzo tanto de la trabe como de la columna y el centro del núcleo solo era un macizo de concreto (fig. 14). Actualmente ya se exige que en la unión se coloque refuerzo para resistir el cortante en esa área, lo que se puede hacer prolongando los estribos al interior del nodo (fig. 15).

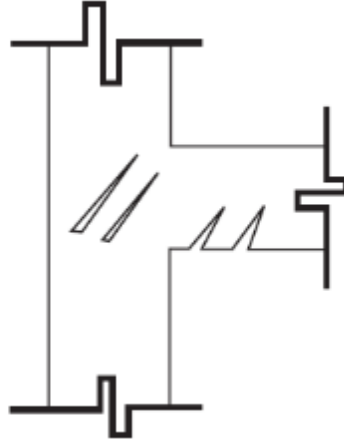


FIGURA 13

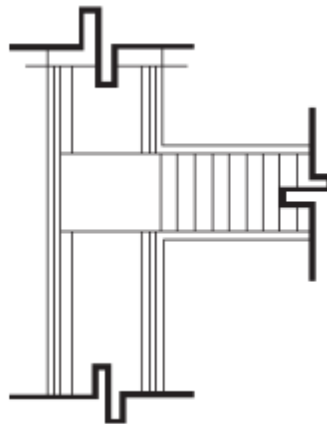


FIGURA 14

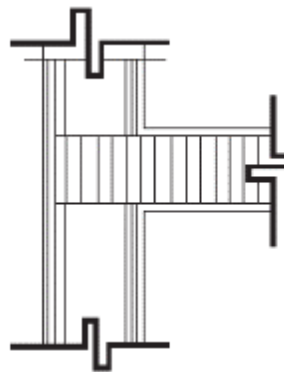


FIGURA 15

#### **Inspección del sistema de cubierta o piso.**

En una losa de concreto pueden aparecer grietas alrededor de la columna lo cual indica que hubo penetración de esta en la losa (fig. 16). La penetración no solo es frecuente en las losas macizas de concreto, sino también en las llamadas planas reticulares, es decir, en aquellas losas reticulares que tienen un solo peralte y que por tanto no tienen traveses de borde, y que en el contacto con la columna tienen un

macizo de concreto armado llamado capitel, cuyo peralte es el mismo de toda la losa (fig. 17). A partir de 1985, por la ocurrencia de la penetración de la columna sobre la losa en varios edificios, este tipo de cubierta no está permitida por la normatividad.

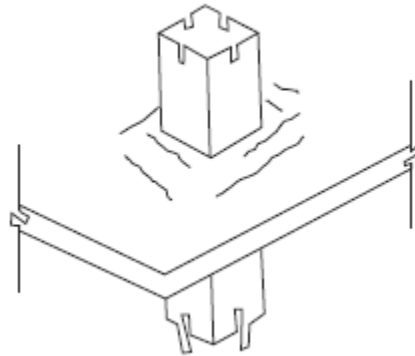


FIGURA 16



FIGURA 17

Un tipo de grieta común a la losa maciza de concreto es la que se presenta de forma longitudinal, paralela y cercana a la trabe de apoyo (fig. 18). Esta falla se puede atribuir a un esfuerzo de tracción. Dependiendo de la dimensión del ancho y profundidad de la grieta, así como de la deformación de la losa se estimara la gravedad del daño.

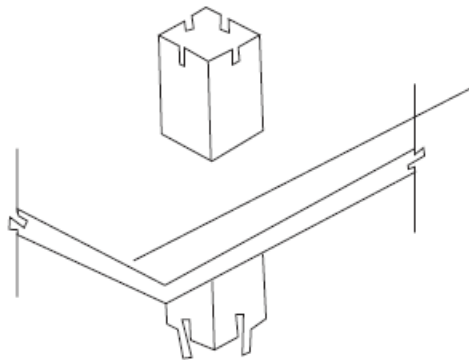


FIGURA 18

### Marcos de acero.

Una dificultad que se enfrenta al evaluar los danos sobre las columnas de acero es el hecho de que las columnas puedan estar recubiertas de concreto con la finalidad de darles resistencia contra el fuego, y por tanto, los danos del elemento estructural no son perceptibles a simple vista, de tal modo que lo primero que se tiene que hacer, será remover los elementos que impidan la observación directa de los elementos estructurales. Identificación de los danos estructurales provocados por los sismos 165

### Conexiones.

En la evaluación post-sísmica de un sistema estructural de acero, es importante la inspección de las conexiones entre los elementos estructurales. El mal comportamiento de estas ha sido identificado como causa de la falla del sistema estructural. Una mala soldadura, una defectuosa mano de obra, escasa resistencia de los remaches o tornillos, pueden propiciar el mal comportamiento de la conexión y como consecuencia la falla de los elementos que esta une. Por lo anterior es importante iniciar con la revisión de las conexiones de aquellos sistemas estructurales a base de marcos de acero

**Daños característicos de las conexiones soldadas.**

Un daño recurrente en la soldadura usada para unir los elementos estructurales se puede producir por una deformación inelástica del elemento estructural, lo cual puede ocurrir de diferentes modos. Algunos daños pueden resultar de gravedad y otros no. Entre los considerados como no graves es la fractura de la soldadura de unión, la cual puede ser la ruptura parcial de la soldadura (fig. 19). O bien la ruptura total a lo largo de dicho metal (fig. 20).

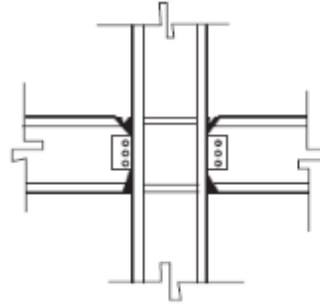


FIGURA 19

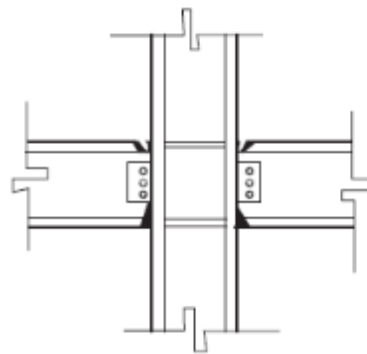


FIGURA 20

Otros casos tipificados como no graves pueden ocurrir como una ruptura únicamente en el contacto del patín de la columna con la soldadura (fig. 21), lo mismo puede suceder en la unión del patín de la trabe con esta (fig. 22).

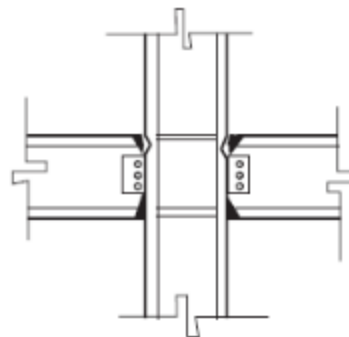


FIGURA 21

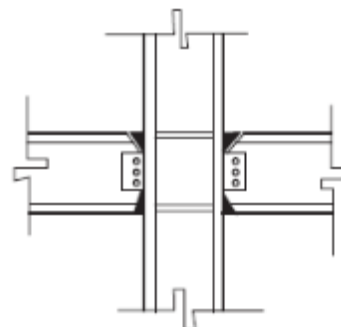


FIGURA 22

En la unión de la viga con la columna se puede presentar la fractura de la soldadura en los atiesadores ubicados en la unión de la viga con la columna, sin embargo, este daño se puede considerar también dentro de los catalogados no graves.

**Daños en la unión entre viga y columna.**

Una de las fallas de graves es el pandeo de los atiesadores, ya que estos se colocan para reforzar la unión de viga columna y además su deformación implica casi siempre una deformación en la columna, con el consecuente debilitamiento de la unión (fig. 23).

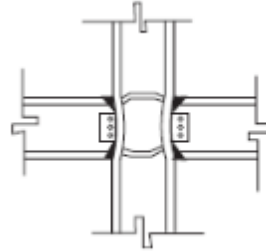


FIGURA 23

En la parte de la columna correspondiente a la unión con la viga pueden ocasionarse fallas en el alma catalogadas como de alto riesgo para la estabilidad del edificio.

En primer lugar, se puede ocasionar la fractura parcial del alma sin presentarse daño en los patines (fig. 24). Otro caso común es la ruptura total de la columna, que incluye al alma y a los patines (fig. 25). Puede darse también el pandeo de los dos componentes de la columna (fig. 26).

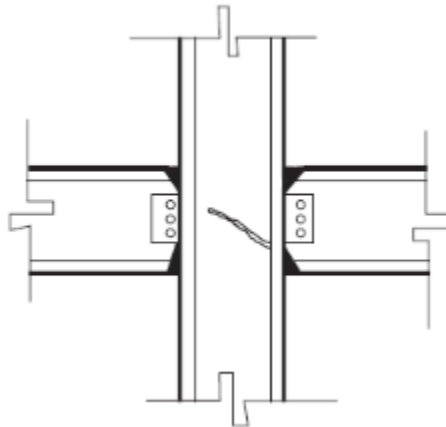
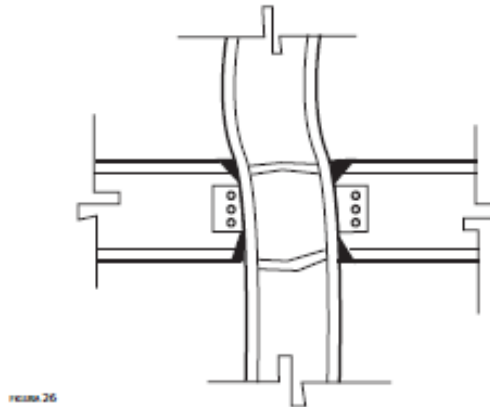
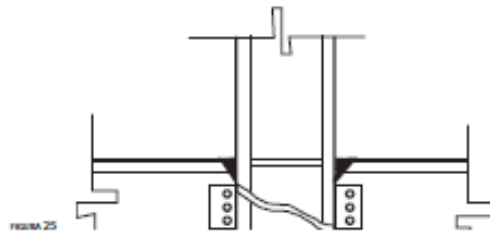
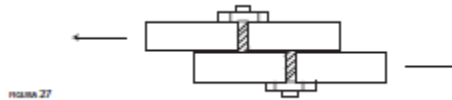


FIGURA 24

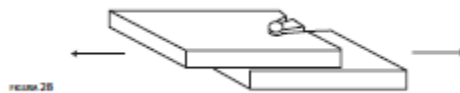


### Daños característicos de las conexiones remachadas.

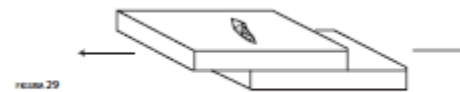
La falla por cortante ocurre por la insuficiencia en la capacidad de los tornillos o remaches para soportar el esfuerzo cortante. Se manifiesta por la deformación o la ruptura de los tornillos o remaches (fig. 27).



Si la distancia entre el tornillo y el límite exterior de la placa es insuficiente puede provocarse el desgarramiento de las placas, originando la ruptura de esta (fig. 28).



La insuficiencia de la sección de las placas puede originar la falla por aplastamiento o bien por tensión provocando la ruptura de la pieza. También influye en este tipo de falla la reducción de la sección ocasionada por el diámetro y la distancia entre los tornillos o remaches (fig. 29).



### Daños en las columnas.

Una falla posible en las columnas sucede principalmente en el patín. Se puede presentar su ruptura en un punto cercano a la unión con la viga como resultado de la pérdida de capacidad resistente del material a la tracción (fig. 30), o bien puede acontecer el pandeo y desprendimiento de una sección del patín manifestado como una continuación de la fisura a lo largo de él (fig. 31).

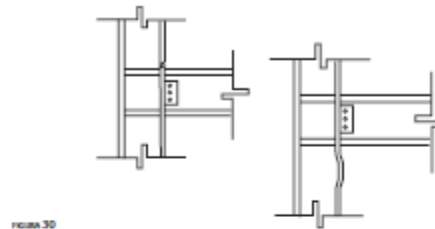


FIGURA 30

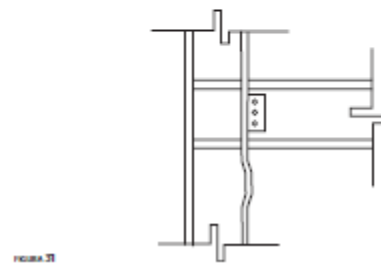


FIGURA 31

#### **Daños en vigas.**

Dependiente del incremento del número de ciclos inelásticos que se producen en una viga durante la ocurrencia de un sismo puede el material que conforma el elemento estructural perder su capacidad resistente y producirse el pandeo de los patines (fig. 32).



FIGURA 32

La pérdida completa de la capacidad resistente del material a la tensión puede provocar la fractura de los patines. Dicha falla acarrea una disminución significativa de la capacidad resistente del sistema estructural, tanto en la capacidad de resistir cargas laterales como en la rigidez de la conexión entre los elementos del sistema (fig. 33).

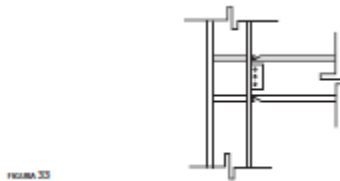
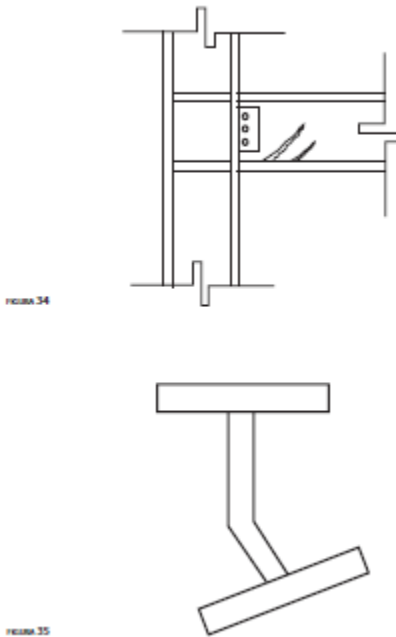


FIGURA 33

Otros danos típicos en las vigas es la fractura en el alma (fig. 34). O su pandeo lateral (fig. 35).



#### **Evaluación final.**

Una vez detectado los daños en los elementos estructurales de manera individual, se procederá a elaborar un dictamen cuantitativo e integral, esto es, se deberá precisar el porcentaje de elementos dañados en relación a la totalidad del sistema estructural y compararlos con la normatividad existente para determinar el grado de seguridad del edificio. De forma general se puede decir que si los elementos dañados representan más del 10 % de los componentes del sistema, la edificación representa un riesgo ante una réplica del temblor.

Los criterios usuales para expresar la evaluación realizada son: habitable, seguridad en duda o insegura.

Sera **habitable** una edificación cuando la capacidad del sistema estructural para resistir cargas no presenta alguna disminución significativa y por tanto no representa peligro para los habitantes de la edificación.

La **seguridad en duda**, se pone de manifiesto cuando una vez realizada la inspección ocular, se detecta una disminución en la capacidad de resistir cargas, que puede ser significativa o no, pero ante la duda deberá desalojarse el edificio y se recomendará la entrada solo a las personas que tengan que ver con la inspección y evaluación detallada.

**Insegura**, lo será cuando el riesgo de un desplome ante una posible réplica del sismo es evidente. En tal caso se debe desalojar el edificio de manera inmediata y se deberán tomar las medidas sobre el apuntalamiento indispensable para que no ocurra un colapso y permita la evaluación detallada de los daños para definir la posibilidad de una reestructuración o en su caso una demolición

Juan Carlos Lancheros. P.E Mech, B.B.A, I.M.S, P.M.S, F.M.S, Cert CILA,