



**ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C**

**Fondo de Prevención y
ATENCION DE EMERGENCIAS**

GUÍA DE PATOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS, ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS



Junio de 2004

PUBLICACIÓN DE LA ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D. C.

GUÍA DE PATOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS, ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES

Este documento ha sido elaborado por la **Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS**, para el **Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá – FOPAE**.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS

ais@uniandes.edu.co

<http://www.asosismica.org>

Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá – FOPAE

dpae@fopae.gov.co

<http://www.sire.gov.co>

EQUIPO DE TRABAJO AIS:

Josef Farbiarz Farbiarz
Ana Campos García
Jesús Humberto Arango Tobón
Omar Darío Cardona A.

Revisión:

Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de la Secretaría de Gobierno de la Alcaldía Mayor de Bogotá – DPAE.

EJEMPLAR GRATUITO: PROHIBIDA SU VENTA

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVOS.....	1
1.1.1	<i>Objetivo General</i>	1
1.1.2	<i>Objetivo Específicos</i>	1
1.2	ALCANCES.....	1
2	EVALUACIÓN DEL ESTADO DE UNA EDIFICACIÓN DESPUÉS DE UN SISMO	2
2.1	PROCEDIMIENTOS PARA LA INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES.....	2
2.2	CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE LA EDIFICACIÓN	4
3	IDENTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.....	5
3.1	SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	5
3.1.1	<i>Sistemas de concreto reforzado</i>	6
	Sistema de pórticos.....	6
	Sistema de muros.....	7
	Sistema dual o combinado.....	7
	Sistema prefabricado	7
3.1.2	<i>Sistemas de mampostería</i>	8
	Sistema de mampostería confinada	8
	Sistema de mampostería reforzada	8
	Sistema de mampostería no reforzada no confinada.....	8
3.1.3	<i>Sistemas de metal</i>	1
	Sistema de pórticos resistentes a momentos	1
	Sistema de pórticos arriostrados	1
3.1.4	<i>Sistemas de madera</i>	1
3.1.5	<i>Otros sistemas</i>	1
3.1.6	<i>Características básicas requeridas para un sistemas estructural sismo resistente</i>	1
3.2	SISTEMAS NO ESTRUCTURALES	5
3.2.1	<i>Descripción</i>	5
3.2.2	<i>Tipos de elementos no estructurales</i>	6
3.2.3	<i>Criterios de diseño</i>	6
3.2.4	<i>Características básicas de un sistema no estructural sismo resistente o errores más comunes en los elementos no estructurales</i>	6
4	RUTA DE COLAPSO.....	8
4.1	ESTADOS LÍMITE.....	8
4.1.1	<i>Estados límite de servicio</i>	8
4.1.2	<i>Estados límite últimos</i>	9
4.2	MECANISMOS DE COLAPSO	12
4.2.1	<i>Pórticos dúctiles resistentes a momento</i>	12
4.2.2	<i>Pórticos arriostrados</i>	13
4.2.3	<i>Muros</i>	14
5	MANIFESTACIONES PATOLÓGICAS	15
5.1	PATOLOGÍAS ASOCIADAS A LOS SUELOS DE CIMENTACIÓN	15
5.1.1	<i>CLASIFICACIÓN DE LAS CAUSAS</i>	16
5.1.1.1	Factores internos.....	16
5.1.1.2	Factores detonantes.....	18
5.1.1.3	Exposición de las edificaciones	18

5.1.2	MECANISMOS DE FALLA	19
5.1.2.1	Caída o desprendimiento	19
5.1.2.2	Volcamiento	20
5.1.2.3	Deslizamiento	20
5.1.2.4	Flujos	21
5.1.2.5	Licuación	21
5.1.2.6	Subsidencia	23
5.1.2.7	Erosión superficial	23
5.1.2.8	Erosión subterránea	24
5.2	PATOLOGÍAS ASOCIADAS A LOS MECANISMOS DE FALLA ESTRUCTURAL	25
5.3	PRINCIPALES MODOS DE FALLA DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	26
5.3.1	CAIDA	26
5.3.2	VOLCAMIENTO	26
5.3.3	DESLIZAMIENTO	27
5.3.4	VAIVEN O BALANCEO	27
6	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	28
ANEXO 1. CATÁLOGO DE PATOLOGÍAS EN CONCRETO Y MAMPOSTERÍA ESTRUCTURALES		30
A.1.1.	INTRODUCCIÓN	31
A.1.2.	MANIFESTACIONES DE LA EXPOSICIÓN AMBIENTAL	32
A.1.2.1.	Corrosión galvánica	32
A.1.2.2.	Ciclos de humedad, reacción álcali-sílice, ataque de sulfatos	34
A.1.2.3.	Cambios de volumen por variaciones de humedad y de temperatura	38
A.1.2.4.	Fuego	42
A.1.3.	MANIFESTACIONES DE ACCIONES FÍSICO-MECÁNICAS	43
A.1.3.1.	Cambios de volumen por retracción y flujo plástico	43
A.1.3.2.	Asentamiento relativo entre apoyos	49
A.1.3.3.	Deformaciones bajo carga estática	55
A.1.3.4.	Deformaciones bajo carga sísmica	64
A.1.3.4.1.	Pórticos	65
A.1.3.4.2.	Muros	72
ANEXO 2. CATÁLOGO DE PATOLOGÍAS EN MUROS NO ESTRUCTURALES DE MAMPOSTERÍA		88
A.2.1.	INTRODUCCIÓN	89
A.2.2.	MANIFESTACIONES PATOLÓGICAS EN MUROS NO ESTRUCTURALES	90
ANEXO 3. CATÁLOGO DE PATOLOGÍAS EN OTROS MATERIALES		101
A.3.1.	INTRODUCCIÓN	102
A.3.2.	MUROS DE TAPIA O ADOBE	102
A.3.2.	MUROS DE BAHAREQUE	104
A.3.3.	VIGAS, COLUMNAS Y CONEXIONES EN ESTRUCTURAS DE ACERO	106
A.3.4.	ESTRUCTURAS DE MADERA	109

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2-1. Clasificación del daño y habitabilidad de la edificación	4
Tabla 5-1. Clasificación del grado de exposición a fenómenos de remoción en masa	19

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3-1. Sistema estructural de pórtico	6
Figura 3-2. Sistema de muros	7
Figura 3-3. Sistemas mixtos: Combinado o dual	7
Figura 3-4. Mampostería confinada	8
Figura 3-5. Mampostería estructural	8
Figura 3-6. Estabilidad de la estructura	2
Figura 3-7. Ley de Newton	2
Figura 3-8. Desfase del centro de masa (CM) y dentro de rigidez (CR).....	3
Figura 3-9. Flexibilidad de la estructura	3
Figura 3-10. Incompatibilidad de deformaciones suelo-cimentación	3
Figura 3-11. Sistema estructural no apropiado	4
Figura 3-12. Capacidad de absorber y disipar energía.....	5
Figura 4-1. Articulaciones plásticas de un pórtico.....	13
Figura 4-2. Posibles modos de falla de muros estructurales	14
Figura 5-1. Mapa de zonificación geotécnica de Bogotá	17
Figura 5-2. Exposición de las Edificaciones Frente a Fenómenos de Remoción en Masa.....	19
Figura 5-3. Desprendimiento de material rocoso y su caída desde una zona escarpada.....	20
Figura 5-4. Proceso de volcamiento de material rocoso por rotación sobre un punto de apoyo	20
Figura 5-5. Tipos de deslizamientos	20
Figura 5-6. Izquierda flujo de escombros. Derecha flujo de tierra	21
Figura 5-8. Esquema ilustrando un flujo generado por licuación.....	22
Figura 5-9. Fenómeno de propagación lateral	22
Figura 5-11. Esquema ilustrando el mecanismo de oscilación del suelo	23
Figura 5-12. Fenómeno de subsidencia que provoca asentamiento de puentes y vías.....	23
Figura 5-13. Tipos de erosión hídrica superficial y su avance sobre una ladera.....	24

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 2-1. Revisión del suelo alrededor de la edificación	2
Fotografía 2-2. Piso débil en la primera planta	3
Fotografía 2-3. Daños en antepechos y fachada de la edificación	3
Fotografía 3-1. Colapso por falta de continuidad y ductilidad.....	4
Fotografía 3-2. ENE antes y después de un evento sísmico.....	7
Fotografía 4-1. Inestabilidad estructural por falta de arriostramiento	9
Fotografía 4-2. Fallas por pérdida de equilibrio	10
Fotografía 4-3. Elementos estructurales fallados por pandeo elástico	10
Fotografía 4-4. Elemento estructural sometido a tensiones de rotura	11
Fotografía 4-5. Colapso progresivo en el edificio Ronan Point, en Londres, 1968.	11
Fotografía 4-6. Rótula plástica en viga de acero estructural	12

Fotografía 4-7. Pérdida de piso en un edificio en Kobe, 1995.....	12
Fotografía 4-8. Pandeo de riostras en pórtico de acero. Kobe, 1995.....	14
Fotografía 4-9. Muros fallados por cortante, Kobe, 1995	15
Fotografía 5-1. Flujo de tierra con un gran contenido en agua.....	21
Fotografía 5-2. Proceso de tubificación por lavado de matriz en depósitos de grano grueso.....	24
Fotografía 5-3. Caída de cielorraso muy pesados y con anclaje deficiente	26
Fotografía 5-4. Ejemplos de volcamiento.....	26
Fotografía 5-5. Ejemplos de falta de anclaje lateral y deslizamiento de objetos	27
Fotografía 5-6. Ejemplos de daño por vaivén o balanceo	27
 Fotografía A.3-1 Daños en muros de tapia	 104
Fotografía A.3-2 Tipos de falla en estructuras de bahareque	107
Fotografía A.3-3 Mecanismos de falla en estructuras metálicas	109
Fotografía A.3-4 Mecanismos de falla en estructuras de madera	111

CRÉDITOS FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2-1	Omar Darío Cardona Arboleda
Fotografía 2-2	
Fotografía 2-3	
Fotografía 3-1	Annotated Slide Colection EERI
Fotografía 3-2	Annotated Slide Colection EERI
Fotografía 4-1	Annotated Slide Colection EERI
Fotografía 4-2	Annotated Slide Colection EERI
Fotografía 4-3	Annotated Slide Colection EERI
Fotografía 4-4	Annotated Slide Colection EERI
Fotografía 4-5	Josef Farbiarz Farbiarz
Fotografía 4-6	Josef Farbiarz Farbiarz
Fotografía 4-7	Annotated Slide Colection EERI
Fotografía 4-8	Annotated Slide Colection EERI
Fotografía 4-9	Annotated Slide Colection EERI
Fotografía 5-1	Jaime Guzmán Giraldo
Fotografía 5-2	Colorado Geological Survey, Rock Talk Vol4. N
Fotografía 5-3	Annotated Slide Colection EERI
Fotografía 5-4	Annotated Slide Colection EERI
Fotografía 5-5	Annotated Slide Colection EERI
Fotografía 5-6	Annotated Slide Colection EERI
Fotografía A.3-1a	Omar D. Cardona
Fotografía A.3-1b	Uniandes
Fotografía A.3-2	AIS
Fotografía A.3-3a, b	Applied Technology Council ATC- 20
Fotografía A.3-3 c,d	Applied Technology Council ATC- 20
Fotografía A.3-4	Applied Technology Council ATC –20

1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Complementar La Guía Técnica para la Inspección de Edificaciones Después de un Sismo, publicada por el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de la Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., mediante la inclusión de una detallada explicación de las patologías más comunes que pueden encontrarse en las estructuras y su sistema de cimentación, afectados por un sismo, y sus causas, de manera que puedan diferenciarse de patologías asociadas con cargas estáticas y exposición ambiental.

1.1.2 Objetivo Específicos

- Presentar un procedimiento detallado para la inspección de edificaciones tras eventos sísmicos.
- Ilustrar sobre los problemas asociados con el suelo de cimentación y su entorno
- Describir los diferentes sistemas constructivos, estructurales y no estructurales de uso común en el país
- Ilustrar sobre la detección de fallencias en la configuración estructural y en el cumplimiento de requisitos básicos de construcción sismo resistente
- Describir los principales mecanismos de la ruta de colapso asociados con cada tipo constructivo, estructural y no estructural
- Realizar un compendio de manifestaciones patológicas de los mecanismos de falla, ilustrado con un atlas práctico
- Complementar el procedimiento detallado de inspección con una síntesis específica de casos existentes.

1.2 ALCANCES

Esta Guía se limita a presentar un marco de referencia para que el profesional encargado de la evaluación de estructuras y sus suelos de cimentación después de un sismo pueda discernir acerca de la identificación de los daños asociados con el sismo y diferenciarlos de daños previos asociados a otras solicitudes.

Esta guía no constituye un manual para estudios de vulnerabilidad sísmica ni para estudios detallados de patologías estructurales para la rehabilitación de estructuras. Sólo debe utilizarse como una guía en la evaluación preliminar de estructuras y sus sistemas de cimentación, tras la ocurrencia de un sismo, para efectos de la determinación de las medidas a tomar por propietarios, usuarios y autoridades competentes

2 EVALUACIÓN DEL ESTADO DE UNA EDIFICACIÓN DESPUÉS DE UN SISMO

La Guía Técnica para la Inspección de Edificaciones Después de un Sismo, publicada por el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de la Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. presenta una metodología para la evaluación del daño y del nivel de seguridad de las edificaciones después de estar sometidas a un sismo. Esta metodología incluye la definición del personal necesario, la preparación requerida, el procedimiento de inspección y el procedimiento de registro de los resultados.

El propósito principal de la inspección es determinar el grado de amenaza que representan los daños sobre la integridad estructural de la edificación, para clasificarla en términos de las acciones que deben tomar, tanto las autoridades competentes como los usuarios, tras la ocurrencia de un sismo. Adicionalmente, el registro de la identificación y la evaluación los daños es esencial para determinar el impacto económico y social del sismo en la ciudad y para aportar información a la base de datos históricos que siempre sirve para desarrollar y mejorar las técnicas asociadas con las estructuras sismo resistentes.

2.1 PROCEDIMIENTOS PARA LA INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES

El procedimiento de inspección debe iniciarse con un reconocimiento del área asignada, evaluando la distribución de daños en la zona, ya que la presencia generalizada de daños comparada con la aparición de daños en sólo unas edificaciones, puede ser un factor importante para determinar varios parámetros cualitativos, como la extensión y severidad de la afectación.

Una vez recorrida la zona asignada, se inicia el proceso de inspección caso por caso, siguiendo el derrotero que se presenta a continuación:

- a) Observar el suelo alrededor de la edificación, para determinar la posible presencia de grietas, hundimientos, deslizamientos o cualquier anomalía en el terreno que pueda afectar la edificación (ver numeral 5.1).



Fotografía 2-1. Revisión del suelo alrededor de la edificación

- b) Examinar desde el exterior la edificación, evaluando los aspectos preexistentes relevantes con base en el cuestionario del punto 3.1.6.



Fotografía 2-2. Piso débil en la primera planta

- c) Observar desde el exterior el estado general de la edificación, daños en fachadas, balcones, antepechos, etc, así como el estado de las edificaciones vecinas, estableciendo si las vías de acceso y de evacuación son seguras.



Fotografía 2-3. Daños en antepechos y fachada de la edificación

- d) Evaluar de la mejor manera posible la integridad estructural de la edificación en términos de la seguridad para ingresar a realizar la evaluación en su interior, observando la integridad de elementos no estructurales, cielos rasos, muros, escaleras o elementos que representen peligro para la vida.
- e) Una vez calificada como segura para ingresar, evaluar en el interior el estado del sistema estructural, clasificando el grado de daño de los diferentes elementos estructurales, de acuerdo con la guía contenida aquí para el tipo de sistema estructural, y estableciendo el porcentaje de elementos dañados en las áreas afectadas.
- f) Evaluar los elementos no estructurales, clasificando el grado de daño y estableciendo el porcentaje de elementos afectados en el área con mayores daños.
- g) Clasificar la afectación de la edificación, de acuerdo con los resultados de la evaluación, con base en los criterios establecidos en la Tabla 2-1. Diligenciar los avisos para clasificación de las edificaciones, indicando si la revisión fue exterior o interior. Colocar los avisos de

clasificación de las edificaciones en cada una de las entradas y consignar las recomendaciones en el formulario así como en los avisos. Marcar en los mapas el resultado de la evaluación de acuerdo con los códigos de colores y con el uso de la edificación.

- h) Explicar verbalmente el significado de la clasificación a los ocupantes de la edificación, especificando clara y directamente si pueden permanecer en la edificación o si deben evacuarla. Si la edificación es segura sólo parcialmente, debe restringirse el acceso a las áreas designadas como inseguras, demarcándolas con algún tipo de barreras o con las cintas de demarcación que tengan la inscripción de PELIGRO.
- i) Notificar a los coordinadores para que se realicen los procedimientos que correspondan por parte de las autoridades pertinentes (remoción de escombros, apuntalamiento, evacuación, demolición de elementos en peligro de caer, etc.).

2.2 CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE LA EDIFICACIÓN

La clasificación del estado de la edificación requiere la identificación y evaluación de los daños de forma cualitativa y con base en una inspección ocular. Para evitar la subjetividad de la interpretación personal, el inspector debe ceñirse a los lineamientos establecidos en esta guía de patologías, como complemento a la Guía Técnica para la Inspección de Edificaciones Después de un Sismo, publicada por el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de la Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.

El estado de la edificación debe reportarse en términos de la seguridad funcional, es decir, en términos de su habitabilidad tras el sismo. Así, la evaluación de los daños, catalogada en función de su severidad y extensión en los diferentes elementos estructurales y no estructurales, se asocia con el grado de habitabilidad de la edificación, de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 2-1.

En consecuencia, los resultados de la inspección se consignan en el Formulario único de inspección, y el aviso de clasificación de la edificación se elabora de acuerdo con los resultado de la clasificación del daño.

Tabla 2-1. Clasificación del daño y habitabilidad de la edificación

Elemento y/o condición evaluada	DAÑOS	Clasificación global del daño y habitabilidad			
		HABITABLE (VERDE)	USO RESTRINGIDO (AMARILLO)	NO HABITABLE (NARANJA)	PELIGRO DE COLAPSO (ROJO)
ESTADO GENERAL DE LA EDIFICACIÓN	1. Existe colapso (1. No 2. Parcial 3. Total)	1	1	2	2 o 3
	2. Desviación o inclinación de la edificación o de algún entrepiso (1. Si 2. No 3. No se pudo determinar)	2	2	3	1
	3. Falla o asentamiento de la cimentación (1. Si 2. No 3. No se pudo determinar)	2	2	3	1
	Comentarios	No existe colapso, inclinación de la edificación o fallas en su cimentación	Inclinación o colapso puntual de algunos elementos que no representan peligro para la estabilidad de la edificación	Edificios con colapso parcial inferior al 50% del área, donde la parte colapsada no está sobrecargando la estructura Existen dudas sobre posibles fallas de la cimentación	Edificios que han alcanzado estados últimos, con colapso total o parcial superior al 50% del área, notablemente inclinados o con entrepisos desplomados Hundimiento o asentamiento de la cimentación

Elemento y/o condición evaluada	DAÑOS		Clasificación global del daño y habitabilidad			
			HABITABLE (VERDE)	USO RESTRINGIDO (AMARILLO)	NO HABITABLE (NARANJA)	PELIGRO DE COLAPSO (ROJO)
DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES	Niveles de daño Se evalúa en el piso de mayor afectación y los porcentajes se toman de los elementos esenciales de acuerdo al sistema estructural	1. Ninguno				
		2. Leve	< 30%	>30%		
		3. Moderado	No hay daños	< 30%	30 a 60%	> 60%
		4. Fuerte	No hay daños	< 10%	10 a 30%	> 30%
		5. Severo	No hay daños	< 5%	5 a 15%	>15%
		Comentarios	Daños muy leves y muy puntales o que no evidencia ningún tipo de daño estructural	Los daños estructurales son tan puntales que no reducen su capacidad global de resistencia ni ponen en peligro la estabilidad	Disminución de la capacidad de resistir cargas verticales u horizontales pero no existe inestabilidad potencial	Disminución significativa de la capacidad para resistir cargas verticales o laterales en tal proporción que existe inestabilidad potencial
DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	Niveles de daño Percepción global de los daños en la edificación verificando principalmente aquellos elementos que representan mayor peligro	1. Ninguno				
		2. Leve	< 30%			
		3. Moderado	< 30%	30 a 60%	> 60%	
		4. Fuerte				
		5. Severo				
		Comentarios	Los daños son leves y muy puntales y no ofrecen peligro para la integridad de las personas	Peligro puntual de falla o caída de objetos, en zonas diferentes a los accesos y escaleras Se pueden remover fácilmente	Daños generalizados Problemas en escaleras y accesos o en fachadas, balcones, cielo rasos que están en peligro de caer	
PROBLE- MAS GEOTEC- NICOS	11. Falla en talud o movimientos en masa 12. Asentamientos, subsidencia o licuación (1. No 2. Parcial 3. Total)		1	1	2	3
	Comentarios	Fuera de la zona de influencia del fenómeno geotécnico y no existe ninguna posibilidad de reactivación	La edificación no se encuentra localizada en el área directa de influencia del fenómeno	El fenómeno es puntual pero sugiere una disminución significativa de la capacidad del suelo a resistir cargas. La edificación se encuentra dentro del área de influencia o de reactivación del fenómeno	La edificación se encuentra localizada sobre o muy cerca al área de influencia del fenómeno y el potencial de reactivación es inminente o muy probable	

3 IDENTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Con el fin de poner en perspectiva el problema de la detección e identificación de daños, se inicia con la identificación de las construcciones en función de sus materiales constitutivos y sus sistemas constructivos.

3.1 SISTEMAS ESTRUCTURALES

Estrictamente hablando, cualquier conjunto de elementos que transfiera cargas desde el punto de su aplicación hasta los apoyos, es un sistema estructural. Desde este punto de vista, la clasificación de sistemas estructurales es amplia y difusa. En una ciudad moderna pueden

coexistir sistemas estructurales de piedra, mampostería simple, madera, guadua, bahareque y tapia, con sistemas con base en materiales más recientes, como mampostería y concreto reforzados, acero, e, inclusive polímeros.

En un esfuerzo por evaluar la vulnerabilidad urbana se han desarrollado diferentes clasificaciones de sistemas estructurales, en función de su configuración y del material predominante que lo constituye. La Guía Técnica para la Inspección de Edificaciones Después de un Sismo, de la cual este documento es complemento, clasifica los sistemas estructurales en función de sus materiales constitutivos. Por claridad, esta clasificación se reproduce a continuación

3.1.1 Sistemas de concreto reforzado

Son aquellos en los cuales los elementos estructurales están conformados por concreto reforzado con barras longitudinales y transversales de acero. De acuerdo con su configuración se clasifican, a su vez en:

Sistema de pórticos

Sistema conformado exclusivamente por un conjunto de columnas y vigas que se encargan de la transferencia de cargas verticales y horizontales hasta la cimentación. En la Figura 3-1, se ilustra un sistema de pórticos donde los sistemas de la losa y la cimentación se omiten por claridad.

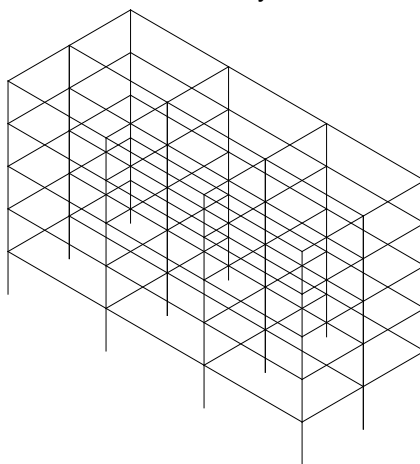


Figura 3-1. Sistema estructural de pórtico

Los pórticos de concreto generalmente carecen de arriostramiento; sus intersecciones entre vigas y columnas, es decir, los nudos del sistema, son los responsables de transmitir la fuerzas a través de todos los elementos hasta la cimentación, incluyendo fuerzas gravitacionales y fuerzas laterales de sismo y de viento.

Desde la vigencia del Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, Decreto 1400 de 1984, CCCSR-84, las estructuras deben tener vigas en ambas direcciones. Sin embargo, es común encontrar edificaciones construidas antes de 1985 estructuradas con pórticos de concreto con vigas en una sola dirección.

Sistema de muros

Es el sistema constituido por muros de concreto que son los responsables de transmitir todas las cargas, incluyendo las verticales y las horizontales, como se ilustra en la Figura 3-2.

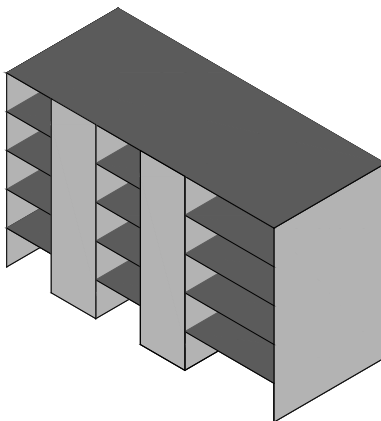


Figura 3-2. Sistema de muros

Sistema dual o combinado

En estos sistemas coexisten los pórticos con los muros, o los pórticos sin arriostramiento con los pórticos arriostrados, como se ilustra en la Figura 3-3.

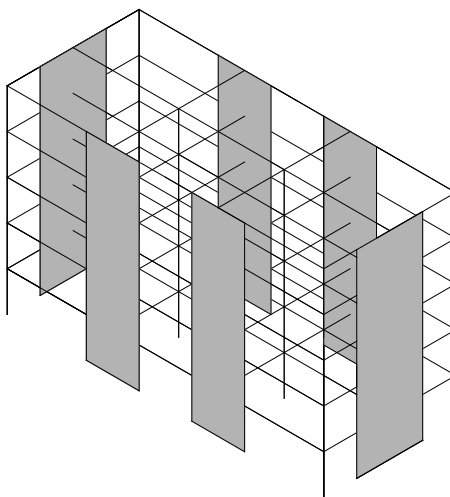


Figura 3-3. Sistemas mixtos: Combinado o dual

Sistema prefabricado

Son sistemas constituidos por elementos vaciados individualmente, en fábrica o en obra, y colocados en su sitio ensamblándolos entre sí para conformar alguno de los sistemas anteriores.

3.1.2 Sistemas de mampostería

Son aquellos en los cuales los elementos estructurales están conformados con bloques o ladrillos de concreto o de arcilla cocida, unidos entre sí con mortero de cemento. De acuerdo con su constitución se clasifican, a su vez en:

Sistema de mampostería confinada

Sistema de muros de mampostería confinados perimetralmente por elementos de concreto reforzado con el mismo ancho del muro, ver Figura 3-4.

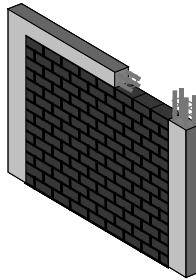


Figura 3-4. Mampostería confinada

Sistema de mampostería reforzada

Es el sistema constituido por muros de mampostería cuyas unidades tienen perforaciones verticales en las cuales se colocan las barras de acero de refuerzo. Las perforaciones en las que se coloca acero se inyectan con concreto. El refuerzo horizontal se coloca tanto en las juntas como en cavidades horizontales rellenas de concreto, ver Figura 3-5.

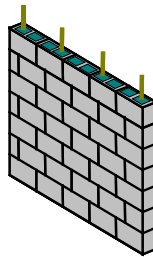


Figura 3-5. Mampostería estructural

Sistema de mampostería no reforzada no confinada

Este sistema está constituido por muros sin refuerzo alguno. Las unidades pueden ser de piedra, de arcilla cocida o de concreto, macizas, o huecas. Este sistema está prohibido en zonas de amenaza sísmica intermedia o alta, para construcciones nuevas.

3.1.3 Sistemas de metal

Son aquellos en los cuales los elementos estructurales están conformados con acero o aluminio. De acuerdo con su constitución se clasifican, a su vez en:

Sistema de pórticos resistentes a momentos

Sistema conformado exclusivamente por un conjunto de columnas y vigas que se encargan de la transferencia de cargas verticales y horizontales hasta la cimentación.

Sistema de pórticos arriostrados

Es el sistema de pórticos en el cual la estabilidad lateral se logra por medio de elementos diagonales o con muros de concreto o mampostería.

3.1.4 Sistemas de madera

Son aquellos en los cuales los elementos estructurales están conformados en su mayoría con madera. Generalmente, los elementos de madera, colocados muy cerca entre sí, conforman un comportamiento estructural como el de los sistemas de muros. Sin embargo, se pueden encontrar armaduras y pórticos arriostrados de madera.

3.1.5 Otros sistemas

Las NSR-98 incluye otros sistemas estructurales, basados en la combinación de sistemas de pórticos con sistemas de muros: el sistema combinado y el sistema dual. Sin embargo, para efectos de evaluación de estructuras basta con anotar que los sistemas de pórticos y de muros pueden combinarse en una sola edificación.

3.1.6 Características básicas requeridas para un sistema estructural sismo resistente

En general, independientemente del sistema estructural empleado, puede evaluarse preliminarmente las características sismo resistentes de una edificación con el siguiente cuestionario:

I. ¿La estructura es estable ante cargas laterales?

Aunque a simple vista una edificación parezca sólida, o el simple hecho de haber sobrevivido muchos años, no implica que la estructura sea verdaderamente estable ante cargas laterales importantes, como movimientos sísmicos de intensidades significativas. La estabilidad de la estructura está relacionada con aspectos que incluyen la capacidad de la cimentación para resistir empujes horizontales bajo cargas dinámicas.

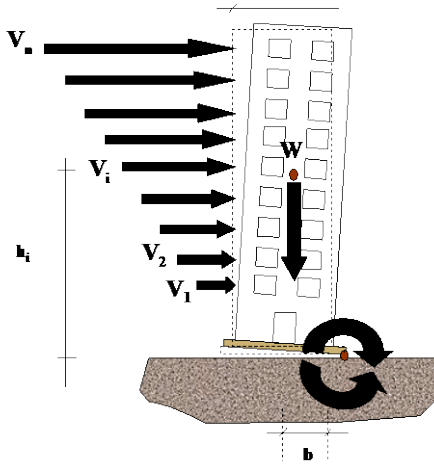


Figura 3-6. Estabilidad de la estructura

II. ¿Es liviana la estructura?

Las cargas sísmicas se denominan también cargas inerciales, es decir, que dependen de la masa de la edificación, puesto que es precisamente la combinación entre la masa de cada nivel y su respuesta diferencial ante la aceleración en el suelo impartida por el sismo, lo que resulta en fuerzas relativas que pueden causar daño, colapso parcial o colapso total. Así, a menor masa, menor sollicitación inercial.

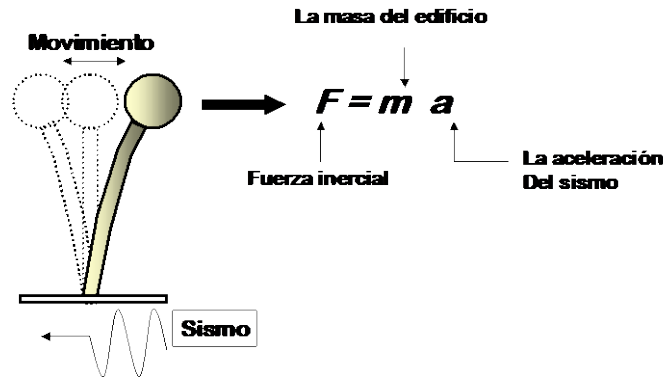


Figura 3-7. Ley de Newton

III. ¿Es la estructura regular en planta o en altura?

Irregularidades en planta o en altura, en términos de masa, resistencia o rigidez, pueden ocasionar concentraciones de tensiones o desviaciones entre centro de masa y centro de rigidez que pongan en peligro la integridad de la estructura.

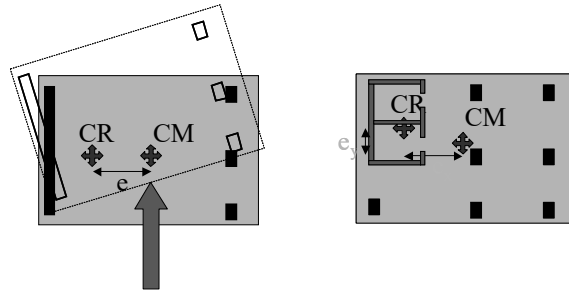


Figura 3-8. Desfase del centro de masa (CM) y centro de rigidez (CR)

IV. ¿Es rígida la estructura?

Aunque una estructura sea estable y de forma regular, la deformación total ante cargas laterales depende en gran medida de su flexibilidad. A mayor flexibilidad, mayor deformación; y, a mayor deformación, mayor probabilidad de daños.

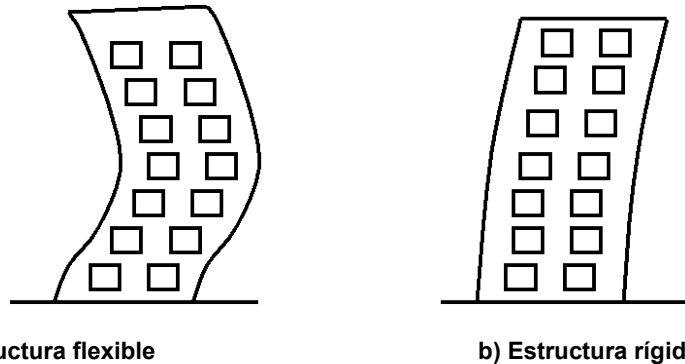


Figura 3-9. Flexibilidad de la estructura

V. ¿Es compatible la cimentación con el suelo ?

El suelo debe ser compatible con el tipo de cimentación que se emplee. Así, por ejemplo, un suelo blando puede no ser compatible con cimentaciones superficiales y un suelo firme no requiere de cimentaciones profundas. Así mismo, terrenos pendientes pueden fallar como un todo, por lo que es necesario determinar la localización de la superficie de falla para garantizar que la cimentación se realice con la profundidad adecuada.

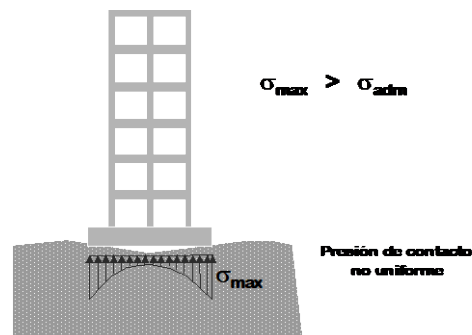


Figura 3-10. Incompatibilidad de deformaciones suelo-cimentación

VI. ¿Tiene la edificación un sistema estructural apropiado?

No todos sistema estructural es apropiado para todo tipo de cargas. Un pórtico resistente a momentos es un sistema que ha sido plenamente estudiado en todo el mundo; las normas vigentes reflejan estas experiencias. Sistemas con base en prefabricados u otras formas menos conocidas, pueden no tener el respaldo experimental suficiente para demostrar su proficiencia sismo resistente. En la Fotografía 3-1 se muestra un edificio para estacionamiento, construido con elementos prefabricados, que colapsó en el sismo de Northridge de 1994 por falta de continuidad y ductilidad.



Fotografía 3-1. Colapso por falta de continuidad y ductilidad

Sea cual sea el sistema estructural utilizado, debe cumplir con ciertos requisitos mínimos de configuración y continuidad para garantizar su adecuada respuesta ante las sollicitaciones impuestas por el ambiente y por el uso. Por ejemplo, los elementos verticales deben ser continuos desde la cimentación.

**Se debe evitar el
 desplazamiento de
 elementos**

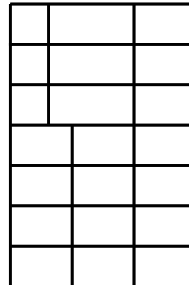


Figura 3-11. Sistema estructural no apropiado

VII. ¿Está construida la edificación con materiales competentes?

Existen materiales que, debido a su propia naturaleza, tiene una pobre competencia ante cargas dinámicas. De tal manera, las NSR-98 especifican los materiales que pueden considerarse como competentes para la fabricación de estructuras sismo resistentes. La lista incluye el concreto reforzado, la mampostería reforzada o confinada, el acero, metales (como el acero y el aluminio), la madera y el bahareque encementado. Se excluyen específicamente la mampostería no reforzada no confinada y la tapia.

Además, el nivel de resistencia y la calidad de los materiales determinan en buena parte el desempeño de la edificación durante su vida útil. Es esencial verificar las características de los materiales mediante registros del proceso de construcción o, en su defecto, mediante pruebas nuevas, destructivas o no destructivas, según sea posible.

VIII. ¿Representa la edificación buena calidad de construcción?

Es posible determinar la calidad de la construcción mediante evidencias físicas de la propia edificación, tales como la textura superficial de los elementos y la precisión de la construcción, entre muchas otras.

IX. ¿Tiene la estructura capacidad de absorber y disipar energía?

Este aspecto es el más difícil de determinar sin un estudio exhaustivo y minucioso de la estructura. Depende de su diseño y de su detallado. Por ejemplo, para que un pórtico tenga capacidad de disipar energía debe detallarse con refuerzo adecuado, no solamente en cantidad, sino en configuración. Por ejemplo, los estribos deben cerrarse con ganchos de 135°, y deben colocarse con un espaciamiento pequeño en las vecindades de las conexiones entre vigas y columnas.

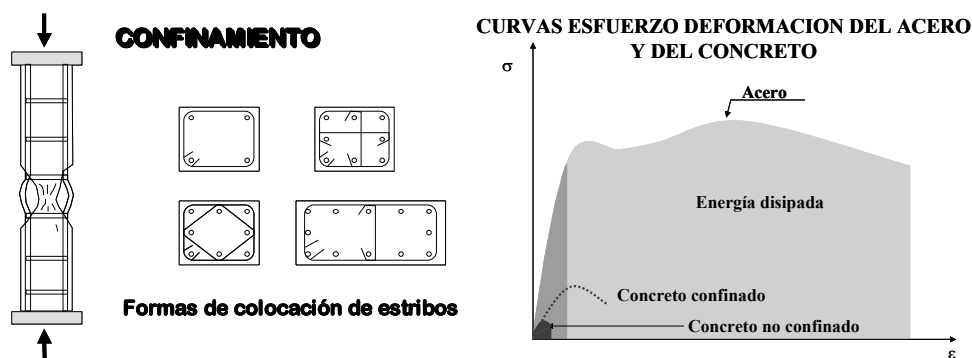


Figura 3-12. Capacidad de absorber y disipar energía

Si se contestan positivamente estas preguntas, es probable que la estructura tenga un grado de sismo resistencia adecuado. Si por el contrario, cualquiera de estas preguntas se contesta negativamente es probable que la estructura sea vulnerable ante eventos sísmicos.

3.2 SISTEMAS NO ESTRUCTURALES

3.2.1 Descripción

Todos los elementos arquitectónicos, mecánicos o de otra índole, que no participan activamente en la transmisión de las solicitaciones, desde su punto de aplicación, hasta las cimentaciones, y que solamente son responsables por su propio peso y por acciones directamente aplicadas sobre ellos, se clasifican como elementos no estructurales (ENE). En esta categoría se incluyen muros de fachada e interiores, ventanas y puertas, ascensores, tuberías de toda índole, equipos de acondicionamiento de aire, acabados, etc.

3.2.2 Tipos de elementos no estructurales

Las Normas Colombianas de Construcciones Sismo Resistentes clasifican los elementos no estructurales en el Capítulo A.9 así:

Acabados, elementos arquitectónicos y decorativos: como muros de fachada, muros interiores, cielo rasos, enchapes de fachada, áticos, parapetos, antepechos, vidrios, paneles prefabricados de fachada, calados y demás elementos decorativos de la edificación. Algunos de estos elementos tienen responsabilidades funcionales como la división de espacios y la protección de la intemperie mientras que otros son netamente ornamentales.

Instalaciones (hidráulicas, sanitarias, eléctricas y de gas): Estos elementos constituyen el sistema de distribución de agua potable, la recolección y disposición de las aguas lluvias y de las aguas negras, la distribución de energía o gas. Esencialmente, están constituidos por un sistema de tuberías embebidas en, o colgadas de, la estructura. A pesar de su importancia, estos elementos carecen de otra responsabilidad estructural que la de su propio peso.

Tanques de agua: Normalmente pueden ser de concreto o de otros materiales como plástico, pueden estar situados en la parte superior o en el sótano de la edificación. Cuando están colocados en la parte superior del edificio pueden generar cargas inerciales importantes o sufrir volcamiento.

3.2.3 Criterios de diseño

De acuerdo con el capítulo 9 del Título A de las NSR-98, los ENE, sus anclajes y conexiones, deben diseñarse para que sean capaces de resistir fuerzas inerciales debido a su propia masa, el viento aplicados sobre ellos, y cualquier otra sollicitación que resulte independientemente del sistema estructural principal de transmisión de cargas de toda la estructura hasta la cimentación.

Es importante determinar el grado de interacción entre ENE y elementos estructurales. Por ejemplo, es práctica común que no se diseñan estructuralmente los muros no estructurales que rellenan las bahías de los pórticos resistentes a momentos, construyéndose unidos a la estructura principal, de manera que terminan participando en la transmisión de fuerzas gravitacionales y laterales. Esta interacción no planeada puede resultar en daños serios de los ENE y no estructurales.

Por lo tanto, es esencial para el adecuado desempeño de las edificaciones sometidas a acciones sísmicas, que los ENE se independicen de la estructura principal, o que se unan a ésta a través de conexiones que sean capaces de absorber las fuerzas y las deformaciones impuestas por las estructura, sin dañarse u ocasionar daños.

3.2.4 Características básicas de un sistema no estructural sismo resistente o errores más comunes en los elementos no estructurales

De manera similar a los elementos estructurales, los ENE se ven afectados por fuerzas inerciales debido a su propia masa y, como se advierte en el numeral anterior, deben diseñarse para resistir las tensiones inducidas por aceleraciones en sus apoyos.

Sin embargo, sus características de sismo resistencia tiene que ver, además, con la interacción que pueda presentarse con el sistema estructural principal. De tal manera, la evaluación de la vulnerabilidad de un ENE puede basarse en la respuesta del siguiente cuestionario:

- I. ¿Tiene una estructuración definida?
Para que pueda evaluarse como sismo resistente, el ENE debe tener algún tipo de estructuración definida. Por ejemplo, una estantería construida con tablas sueltas apoyadas sobre bloques o ladrillos sin pega, o sin conectarse entre sí, no constituye una única estructura que pueda funcionar integralmente.
- II. ¿Está construido con materiales dúctiles?
Si el ENE está constituido con materiales frágiles su estructuración no puede comportarse inelásticamente. Por ejemplo, un muro no estructural, construido con mampostería no reforzada no confinada tendrá un comportamiento frágil.
- III. ¿Está aislado de la estructura principal o está conectado a ésta con elementos dúctiles?
Los criterios de diseño de ENE se basan en dos alternativas: o se le aísla del sistema estructural o se le conecta a éste con elementos que sean capaces de absorber las fuerzas y los desplazamientos impuestos por la estructura. De tal manera, un sistema de cielorraso, diseñado y construido con elementos de aluminio, pero conectado a la losa con pedazos de madera y clavos, puede fallar frágilmente; asimismo, una tubería embebida en un muro de mampostería no reforzada no confinada puede romperse si el muro falla ante cargas horizontales, mientras que una tubería colgada de la losa con arandelas flexibles de acero puede resistir movimientos relativos de sus anclajes.
- IV. ¿Tiene anclajes dúctiles?
De nada valdría una estructuración y conexiones dúctiles si los anclajes contra la estructura principal son frágiles. En la Fotografía 3-2a, se muestra una estantería que tiene estructuración definida que podría tener un comportamiento dúctil y que está anclada en la pared mediante tornillos que ajustan pletinas metálicas soldadas a la estantería. Si el anclaje no es adecuado puede tener una falla frágil, como la que se muestra en la Fotografía 3-2b.



a) Estantería anclada a la pared



b) Anclaje fallado por extracción

Fotografía 3-2. ENE antes y después de un evento sísmico

Si se contesta negativamente a cualquiera de estas preguntas, probablemente el ENE no fue diseñado y puede ser vulnerable ante acciones sísmicas.

4 RUTA DE COLAPSO

Cuando una estructura colapsa, ha debido someterse a una serie creciente de magnitud de cargas, lenta o súbitamente, hasta sobrepasar su capacidad total. Para ello, la magnitud de la carga aplicada debe ocurrir una de varias posibilidades:

- La magnitud de las cargas excede la capacidad resistente de diseño, incluyendo los factores de seguridad correspondientes.
- Se calcularon erróneamente las cargas o las capacidades resistentes.
- La calidad de la construcción resultó en resistencias menores que las proyectadas para las cargas reales de la estructura.
- No existió cuantificación de cargas y/o de resistencias.

A medida que las cargas se acercan a la capacidad última total de la estructura una serie de manifestaciones pueden poner en evidencia la inminencia de falla o colapso, marcando una ruta de manifestaciones patológicas que, de acuerdo con la velocidad del incremento de carga o la reducción de la resistencia, pueden resultar en la prevención del colapso.

4.1 ESTADOS LÍMITE

Se considera que una estructura ha fallado cuando se sobrepasa un estado límite determinado de acuerdo con criterios de resistencia, rigidez, desempeño e, inclusive, apariencia. Estos estados límite pueden ser de servicio, últimos o estados límite particulares, específicamente establecidos para un tipo de proyecto o de solicitaciones.

4.1.1 Estados límite de servicio

Los estados límite de servicio son aquellos a partir de los cuales, aunque todavía no se amenaza la integridad estructural, se deteriora el desempeño o la funcionalidad de la edificación. Los límites se establecen en función de criterios de servicio como:

- ✓ Deflexiones excesivas:
Todo elemento estructural se deforma bajo cargas, inclusive en el intervalo elástico del comportamiento de los materiales. Así, la existencia de deflexiones no implica, per se, vulnerabilidad estructural. Sin embargo, si las deflexiones exceden ciertos límites, aún por debajo del umbral de fluencia del material, su funcionalidad puede verse amenazada. Por ejemplo, un elemento en voladizo que tenga deflexiones significativas apreciables a simple vista puede generar desconfianza, así la deformación todavía ocurra en el intervalo elástico de trabajo del material.
- ✓ Vibraciones indeseables:
El dimensionamiento de estructuras livianas puede resultar en la especificación de elementos esbeltos que son capaces de resistir las bajas cargas sin problema pero cuya flexibilidad los hacen susceptibles a vibración debido a cargas ambientales. De tal manera, una losa delgada en un edificio residencial o de oficinas de grandes vanos, adecuada para resistir las cargas impuestas, puede vibrar constantemente con el tráfico local, de manera que se genere la incomodidad o la desconfianza del usuario.
- ✓ Ancho excesivo de grietas:
Algunos materiales deben fisurarse para trabajar. Es el caso de ciertos materiales compuestos, como el concreto y la mampostería reforzados, cuyas matrices se fisuran con

niveles relativamente bajos de tensiones, tras lo cual el refuerzo comienza a trabajar. Esta fisuración de la matriz frágil ocurre aún en magnitudes inferiores del intervalo de tensiones elásticas del material compuesto y no representan necesariamente una amenaza a la integridad del elemento estructural. Sin embargo, la anchura de las fisuras puede ser excesiva desde el punto de vista funcional, por ejemplo, para elementos de cubierta, o elementos de estructuras para contener líquidos o gases.

Los límites son barreras subjetivas y pueden cambiar de acuerdo con el tipo de construcción, la región, el uso de la edificación, entre otros. Sin embargo, una edificación que bajo cargas usuales presenta evidencias de haber sobrepasado los límites de servicio, puede ser vulnerable ante eventos sísmicos.

Por otra parte, una estructura puede afectarse en un sismo, aun así solamente se hayan excedido los límites de servicio.

4.1.2 Estados límite últimos

Los estados límite últimos se refieren al nivel máximo a partir del cual se pone en riesgo la integridad de la estructura. Se definen en función de los siguientes criterios:

✓ **Inestabilidad:**

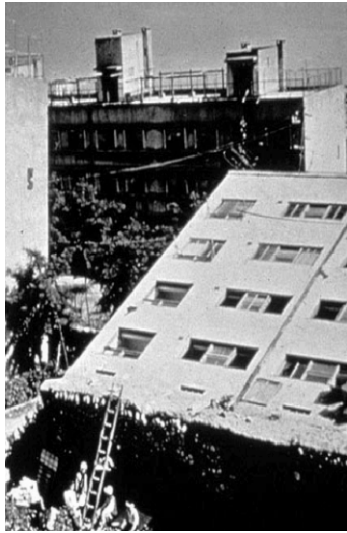
Una estructura puede ser inestable por las características de sus apoyos o por características de la configuración interna. El edificio estructurado con madera que se muestra en la Fotografía 4-1 carecía de arriostramiento en el primer nivel. Ante el terremoto de Loma Prieta en California, en octubre de 1989, el edificio casi colapsa. Fue detenido por los edificios vecinos.



Fotografía 4-1. Inestabilidad estructural por falta de arriostramiento

✓ **Pérdida de equilibrio**

Bajo ciertas condiciones de carga, la estructura puede perder su equilibrio y colapsar como cuerpo rígido. Es el caso de edificios esbeltos cuyas cimentaciones no resistan las cargas de tracción que puede inducir un sismo, o una estantería que no esté anclada al piso, como se ilustra en la Fotografía 4-2.



a) Volcamiento por licuación en Japón, 1964. b) Volcamiento en Turquía por falla en cimentación.

Fotografía 4-2. Fallas por pérdida de equilibrio

✓ Pandeo elástico

Los elementos esbeltos son susceptibles de fallar aunque las tensiones en el material no superen el límite de fluencia. La falla por pandeo es una falla súbita que ocurre en el intervalo elástico del material y que puede causar el colapso total del elemento. En la Fotografía 4-3 se muestra elementos que han fallado por pandeo.



a) Columna de concreto, Méjico 1985 b) Riostras de acero, Kobe, 1995

Fotografía 4-3. Elementos estructurales fallados por pandeo elástico

✓ Fatiga

Cuando un elemento se somete a un número elevado de ciclos de carga inferior a la carga última especificada en el diseño, puede excederse el límite último por fatiga del material. Este fenómeno de rotura se puede dar inclusive con niveles relativamente bajos de carga, pero con ciclos de gran frecuencia y cantidad.

✓ **Rotura**

Cuando las tensiones inducidas por sollicitaciones externas superan la capacidad de los materiales se produce su rotura. Dependiendo de las condiciones de borde del elemento estructural solicitado, de la naturaleza de las tensiones superadas y de la configuración y detallado especificados en el diseño, la rotura puede resultar en la falla parcial o total del elemento.



Fotografía 4-4. Elemento estructural sometido a tensiones de rotura

✓ **Colapso progresivo**

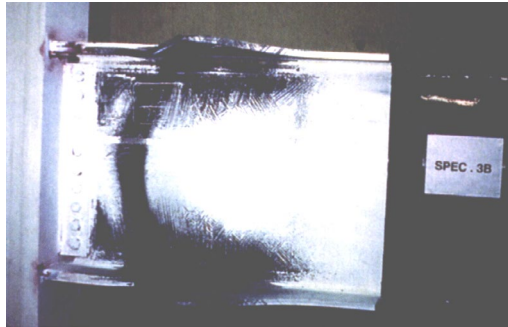
Cuando se produce la rotura de un elemento estructural principal, la consecuente redistribución de esfuerzos puede causar sobrecarga en elementos adyacentes que, por falta de hiperestaticidad u otras causas, fallan sucesivamente, produciendo, a su vez, el colapso progresivo de la estructura. La Fotografía 4-5 ilustra este caso con el ejemplo de uno de los colapsos progresivos recientes más notorios. Toda una esquina del edificio Ronan Point, en el este de Londres colapsó debido a una explosión de gas en el piso 18, el 16 de mayo de 1968.



Fotografía 4-5. Colapso progresivo en el edificio Ronan Point, en Londres, 1968.

✓ **Formación de mecanismo plástico**

Cuando el elemento que sufre la rotura tiene suficiente ductilidad, puede resistir grandes deformaciones sin fallar y sin pérdidas considerables de resistencia, formando un mecanismo de disipación de energía mediante trabajo en el régimen inelástico. Este mecanismo de rotulación plástica puede muy bien ser la última línea de defensa de una estructura ante eventos sísmicos poco frecuentes de gran intensidad. En la Fotografía 4-6 se muestra una rótula plástica en el extremo de un elemento estructural con gran capacidad dúctil.



Fotografía 4-6. Rótula plástica en viga de acero estructural

4.2 MECANISMOS DE COLAPSO

Cuando una estructura se somete a cargas dinámicas elevadas, su comportamiento puede pasar por toda una gama de estados límite, hasta el colapso. Aunque los estados límite no dependen del tipo de material ni de la tipología estructural, sus manifestaciones varían de acuerdo con el sistema estructural y su material constitutivo.

Así, mientras que un elemento de concreto o de mampostería, reforzados, experimenta una degradación de rigidez por fisuración del material frágil en las etapas tempranas del intervalo elástico, un elemento de acero estructural no pierde rigidez sino hasta superar la tensión de fluencia.

4.2.1 Pórticos dúctiles resistentes a momento

El mecanismo de falla de un pórtico involucra la formación de rótulas plásticas en los extremos de los elementos que llegan a los nudos resistentes a momento. Sin embargo, una viga articulada en ambos extremos aumenta su régimen de deformaciones pero no necesariamente implica la falla del elemento y, menos aún, del sistema estructural. De hecho la ruta de colapso especificada para pórticos resistentes a momentos indica que las rótulas plásticas deben formarse primero que todo en las vigas. Si se articulan los extremos de las columnas de un nivel de una edificación, ese piso puede colapsar, como se muestra en la Fotografía 4-7 e, inclusive, ocasionar el colapso progresivo de toda la estructura.



Fotografía 4-7. Pérdida de piso en un edificio en Kobe, 1995

De tal manera, los pórticos deben dimensionarse de manera que se comporten como se ilustra en la Figura 4-1a, es decir, que se forme la rótula plástica primero en las vigas. Sólo los extremos superiores de las columnas del último nivel podrían desarrollar también articulaciones plásticas. Así, aún cuando se hayan excedido los niveles elásticos de la estructura, no se forma un mecanismo y la estructura, con menor rigidez, puede deformarse sin colapsar, como se muestra en la Figura 4-1b. Por el contrario, si se articulan las columnas, como se muestra en la Figura 4-1c, se puede formar un mecanismo y perderse el piso, como se ilustra en la Figura 4-1d.

Por otra parte, para que una viga colapse se requieren, por lo menos, tres articulaciones, una en cada extremo y otra en su luz.

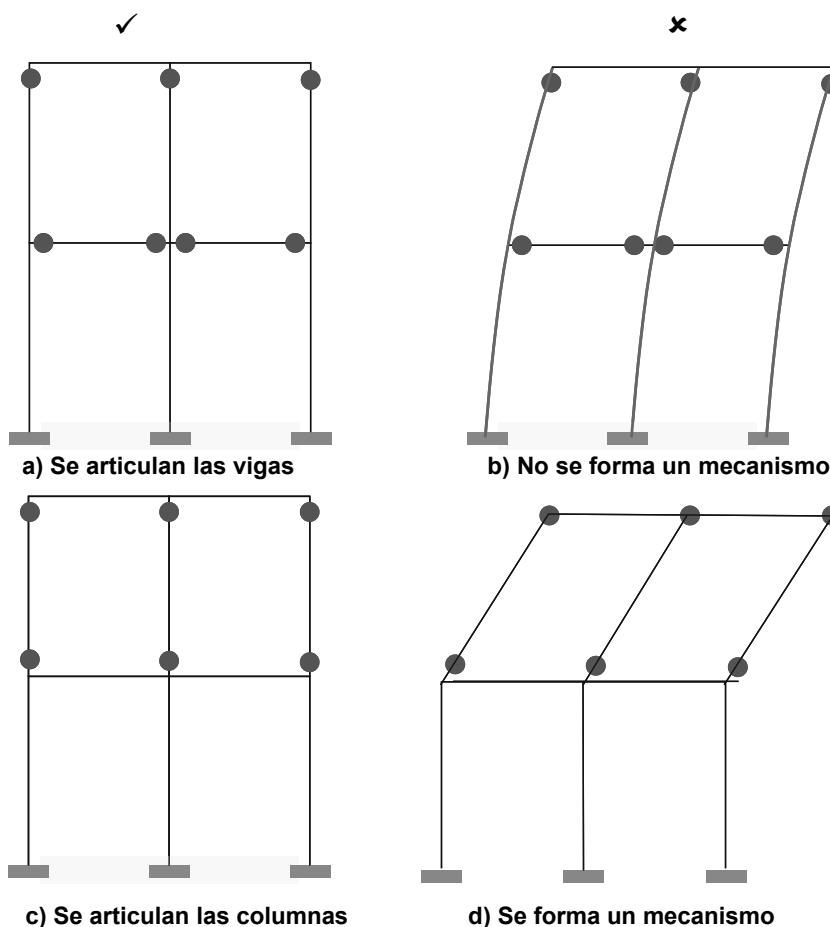


Figura 4-1. Articulaciones plásticas de un pórtico

4.2.2 Pórticos arriostrados

Es común diseñar los pórticos de acero estructural de manera que su resistencia a cargas laterales no dependa de las conexiones entre columnas y vigas, sino que se logre mediante riostras colocadas en los vanos. Este tipo de estructuración funciona de manera similar a un sistema de muros. De hecho, las NSR-98 clasifica los pórticos con riostras dentro de los sistemas de muros. El mecanismo de falla por lo tanto, al igual que en muros, involucra una biela de compresión diagonal y otra de tracción en cada vano. La Fotografía 4-8 ilustra el trabajo de este sistema

estructural, donde las riostras se pandearon significativamente por las tensiones de compresión inducidas en ambos sentidos por la carga cíclica en un evento sísmico



Fotografía 4-8. Pandeo de riostras en pórtico de acero. Kobe, 1995.

4.2.3 Muros

Cuando un elemento vertical se clasifica como muro, su desempeño ante cargas horizontales es similar al de una viga en voladizo, con los máximos momentos y las máximas cortantes en su base. De tal manera, los muros pueden fallar por flexión o por corte, dependiendo del modo dominante de falla, caracterizado por sus proporciones geométricas. Sin embargo, el detallado del refuerzo y otras características de su diseño, pueden hacer que el muro falle por deslizamiento en la base o por pandeo, o por falla de su cimentación, antes de que puedan desarrollarse las tensiones últimas de su capacidad a flexión o a corte. En la Figura 4-2 se ilustran los diferentes modos de falla de un muro estructural.

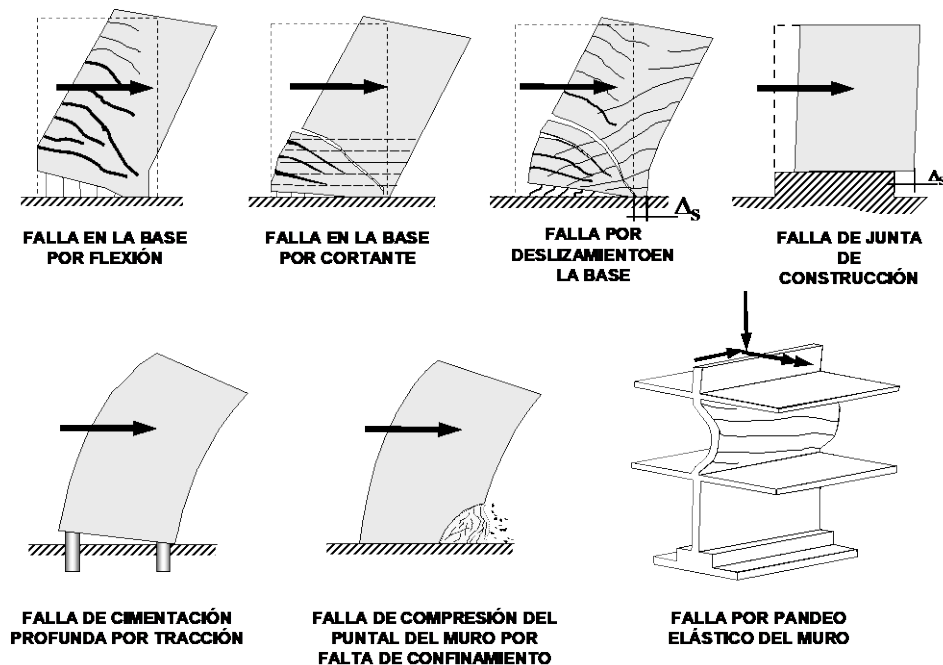


Figura 4-2. Posibles modos de falla de muros estructurales

Cuando un muro falla por flexión, la plastificación de un muro comienza en su base y se propaga hasta cierta altura a partir de lo cual se forma el mecanismo de colapso y el resto del muro trabaja rotando como un cuerpo rígido alrededor de la articulación plástica. La falla por flexión puede darse por cedencia del acero, que es lo preferible, o por compresión del concreto o la mampostería, que representa una falla frágil no deseable.

La falla por cortante puede darse por insuficiencia de refuerzo de corte, o por una combinación de falla por flexión y deslizamiento en la base. Las juntas de construcción mal concebidas o mal realizadas pueden proporcionar una superficie de falla ideal para falla de corte. En la Fotografía 4-9 se muestran muros de corte fallados en la base de un edificio con sistema combinado entre pórticos y muros.



Fotografía 4-9. Muros fallados por cortante, Kobe, 1995

Los muros son estructuras rígidas que generan grandes momentos de vuelco en su cimentación. Si la cimentación no se diseña o no se construye adecuadamente, el muro puede volcarse, inclusive halando cimentaciones profundas.

Por último, debido a su naturaleza, los muros son elementos esbeltos y, como tales, son susceptibles de fallar por pandeo, que es un tipo de falla elástica que puede ocurrir antes que se inicie la ruta de colapso del material.

5 MANIFESTACIONES PATOLÓGICAS

Toda acción, sea debida a la exposición ambiental o al uso, que resulte en solicitudes que exceden la capacidad de los materiales para permanecer en el intervalo elástico de su comportamiento bajo cargas, produce daños visibles bajo inspección. Esta evidencia es lo que se denomina aquí como manifestación patológica.

5.1 PATOLOGÍAS ASOCIADAS A LOS SUELOS DE CIMENTACIÓN

Las ondas sísmicas se propagan a través de los estratos rocosos hasta la superficie de la corteza terrestre, donde deben transmitirse a través de los suelos de cimentación antes de afectar las estructuras. La aceleración de los suelos pueden exigir su trabajo inelástico y producir daños que también deben diferenciarse de daños producidos en los suelos solicitados diferentes a las sísmicas. Para ello es esencial conocer las posibles patologías de los suelos y sus causas probables.

5.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CAUSAS

5.1.1.1 Factores internos

Es la suma de las propiedades, factores físicos o geométricos del subsuelo o el relieve, que constituyen o conforman el terreno, que condicionan, hacen propicio o facilitan la ocurrencia de uno o varios tipos de fenómenos descritos anteriormente. Estas características influirán sobre la resistencia del material, de tal modo que se puede hablar de terrenos susceptibles a la ocurrencia de ciertos fenómenos particulares, dependiendo de:

- **Litología:** Según el caso, unos materiales u otros, tendrán diferentes rangos de densidad, textura (granulometría y, ausencia o presencia de un determinado material cementante), así como una composición química particular, una condiciones de permeabilidad dadas, un grado de consolidación y un espesor que según el caso permitirán al menos en primera instancia relacionar la litología como un factor requerido inicialmente para que el fenómeno evaluado ocurra. Cabe resaltar que no necesariamente la litología es siempre una causa, como pudiera pensarse.
- **Meteorización:** Complementariamente a lo anterior, el grado de meteorización, su espesor y su composición igualmente condicionarán el comportamiento de la masa para la ocurrencia de ciertos fenómenos.
- **Suelo:** En dependencia de su espesor, textura, contenido de materia orgánica, consolidación, y otros rasgos similares a los enunciados en los factores anteriormente descritos, igualmente condicionarán sobre el potencial de ocurrencia de unos y otros fenómenos.

De acuerdo con la zonificación geotécnica realizada en el estudio de microzonificación sísmica de Bogotá, la ciudad se dividió en cinco zonas teniendo en cuenta su origen geológico y los resultados de la investigación geotécnica, los cuales se describen a continuación:

- Zona montañosa: caracterizada por la presencia de areniscas duras resistentes a la erosión y arcillolitas cuya resistencia y deformabilidad dependen de su humedad.
- Zona de piedemonte o de conos de deyección: conformada por materiales que bajo el efecto de la gravedad ha sufrido movimientos y se han depositado en forma de cono o abanico.
- Zona de suelos duros: en donde predominan las arcillas preconsolidadas con intercalaciones de arena y suelos arenosos de origen aluvial. La parte occidental de esta zona, se caracteriza principalmente por la presencia de arenas de grano fino a muy fino, con poca presencia de arcillas.
- Zona de suelos blandos: caracterizada por la presencia de arcillas blandas de alta compresibilidad. Hacia la parte sur oriental de la zona se encuentran suelos preconsolidados en un espesor de 10m, espesor que disminuye hacia la parte nor-occidental.
- Zona de rondas de ríos y humedales, a la cual pertenecen los cuerpos de agua de la ciudad: humedales, antiguos lagos y zonas de inundación.

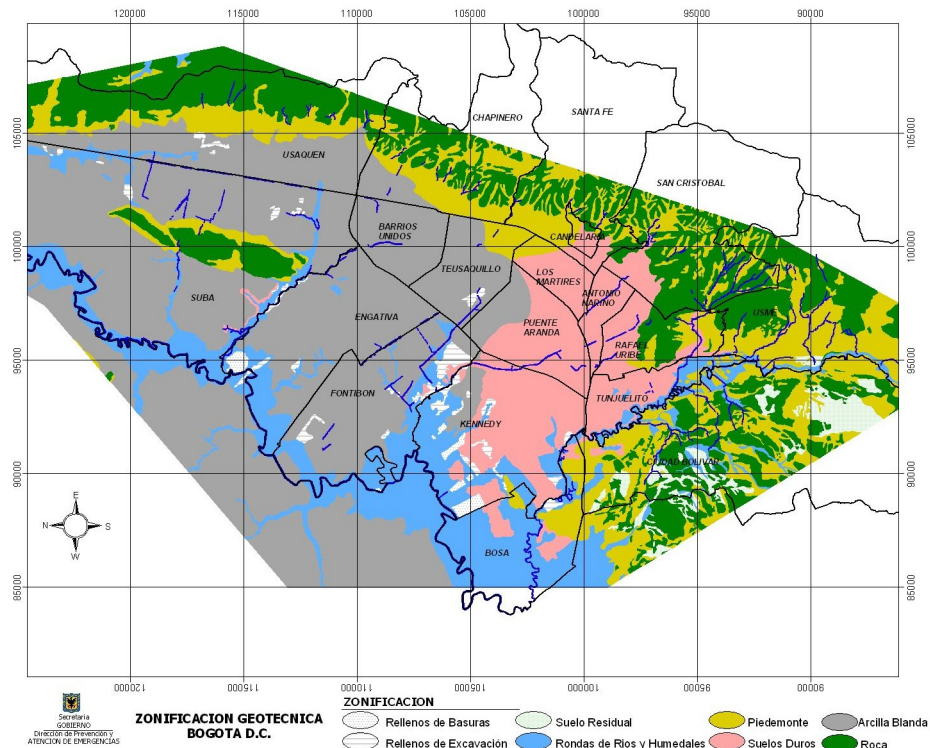


Figura 5-1. Mapa de zonificación geotécnica de Bogotá

- Discontinuidades:** La orientación de las discontinuidades (estratificación, contactos, diaclasas, fallas, fracturas, etc.) respecto a las pendientes, así como la densidad de discontinuidades, influirá sobre los movimientos potenciales del terreno y la erosión actuante. Otros aspectos importantes, a tener en cuenta, son la rugosidad de la superficie de las discontinuidades, la presencia de material alterado o de relleno sobre ellas, la dimensión de la abertura y la presencia o ausencia de flujo de agua. En algunos casos este factor resulta ser un factor preponderante, en particular en roca.
- Agua subterránea:** En dependencia del nivel de aguas freáticas promedio, la presencia o ausencia de acuíferos, así como el contenido de agua intersticial, será determinante en la ocurrencia de diversos fenómenos.
- Morfometría:** La geometría, pendiente y diferencia de relieve por unidad de área, igualmente es un factor que finalmente influirá sobre la ocurrencia o no de un fenómeno dado. Para la ocurrencia de fenómeno dado se requiere de otros factores que actúen conjuntamente con los rasgos que definen la morfometría. Se debe tener en cuenta, que no necesariamente a mayor pendiente, mayor potencial para la ocurrencia de fenómenos de inestabilidad, pues la estadística muestra una distribución diferente al respecto, lo que es explicable, pues allí donde se presentan las mayores pendientes, frecuentemente el espesor de suelo es menor y los materiales presentan una mayor resistencia.

5.1.1.2 Factores detonantes

Son aquellos factores que intervienen transitoriamente sobre la integridad del subsuelo, dando lugar a cambios en las condiciones iniciales aportadas por los factores internos. De tal forma los factores detonantes, causan cambios físicos, químicos o dinámicos, que determinan finalmente cambios de las fuerzas resistentes y/o motoras de un talud o ladera, o provocan modificaciones de la estructura del subsuelo. Estos cambios, se manifestarán finalmente como un movimiento o desplazamiento del subsuelo, o en la ocurrencia de fenómenos de erosión superficial o subsuperficial, en cualquiera de las categorías diferenciadas anteriormente.

a. Factores detonantes naturales

Los eventos o fenómenos que intervienen como factores detonantes naturales principales son: Sismo, lluvia, alta escorrentía, alta infiltración, saturación superficial, sobrecarga natural (por agua o por suelo).

b. Factores detonantes antrópicos

Los principales factores son: Vertimientos incorrectos, fugas en redes de agua, obstrucción de cauces, desvío de cauces, riegos, deforestación, llenos de ladera, sobrecarga estructural, sobrecarga de relleno, cortes, excavaciones subterráneas, vibraciones inducidas, cultivos limpios, pérdida de soporte lateral (por cortes u otras acciones de remoción de materiales del subsuelo), cambio de cobertura vegetal y sobrecarga de vegetación.

5.1.1.3 Exposición de las edificaciones

La exposición de las edificaciones es un factor fundamental para determinar los posibles daños debido a los fenómenos de remoción en masa o cualquier otro fenómeno geotécnico. Para tal efecto, se adaptó la metodología propuesta por Leone (1996) y modificada por Soler et al (1999).

La exposición se estudia con base en la ubicación de las edificaciones respecto del fenómeno de remoción probable y la manera como el fenómeno actúa contra ellas (magnitud y distancia de viaje del movimiento).

En general todo movimiento esta definido por tres grandes zonas con afectaciones diferentes así:

- Zona de Influencia Directa: definida como el área en la que tiene lugar el movimiento (en el cuerpo del deslizamiento), los daños que van a sufrir las edificaciones se pueden relacionar con los desplazamientos laterales, que a su vez dependen de la velocidad del movimiento (entre más rápido, los daños pueden ser mayores).
- Zona de Influencia Indirecta: que corresponde a aquella que puede ser invadida por la masa deslizada o a la parte alta que puede ser desconfinada. Los daños de las edificaciones para el primer caso, se pueden relacionar con los empujes laterales que se pueden asociar con la altura que alcanza la acumulación de material contra la estructura; y para el segundo caso los daños están asociados con grietas o asentamientos
- El tercer sector es denominado Fuera de la Zona de Influencia: en donde no se espera ningún tipo de afectación (empujes laterales o presiones laterales)

La exposición por tanto no es absoluta sino relativa a la afectación probable de la edificación. Ver Tabla 5-1 y Figura 5-2

Tabla 5-1. Clasificación del grado de exposición a fenómenos de remoción en masa

GRADO DE EXPOSICION	CLASIFICACION
Dentro de la zona de influencia directa	Muy Alta
Parcialmente en la zona de influencia directa	Alta
Totalmente dentro del área de influencia indirecta	Media
Parcialmente en la zona de influencia indirecta	Baja
Fuera de la zona de influencia directa e indirecta	Muy Baja

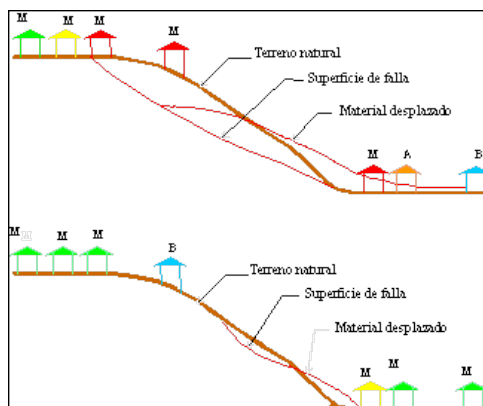


Figura 5-2. Exposición de las Edificaciones Frente a Fenómenos de Remoción en Masa

5.1.2 MECANISMOS DE FALLA

A continuación se presentan y sintetizan las diferentes manifestaciones asociadas con los fenómenos geológicos y geotécnicos, como movimientos en masa, asentamientos y licuación de suelos y problemas de erosión superficial y profunda. El contenido ha sido tomado con autorización la Sociedad de Ingenieros del Quindío, del trabajo realizado por miembros de la AIS, Ana Campos G. y Jaime Guzmán G., en el documento “Manual para el diligenciamiento del formulario para evaluación geotécnica”.

5.1.2.1 Caída o desprendimiento

En este tipo de fenómeno, el material de suelo o roca se desprende desde una ladera empinada o escarpada (Varnes, 1978), y desciende a través del aire, pudiendo saltar y rodar a través de la pendiente, pero su mayor recorrido lo realiza a través del aire (Figura 5-3).

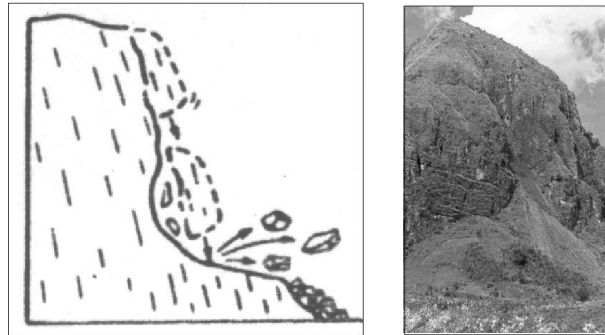


Figura 5-3. Desprendimiento de material rocoso y su caída desde una zona escarpada

5.1.2.2 Volcamiento

En el fenómeno de volcamiento, ocurre la rotación de una masa de roca o suelo a partir de un punto de apoyo, ver Figura 5-4.

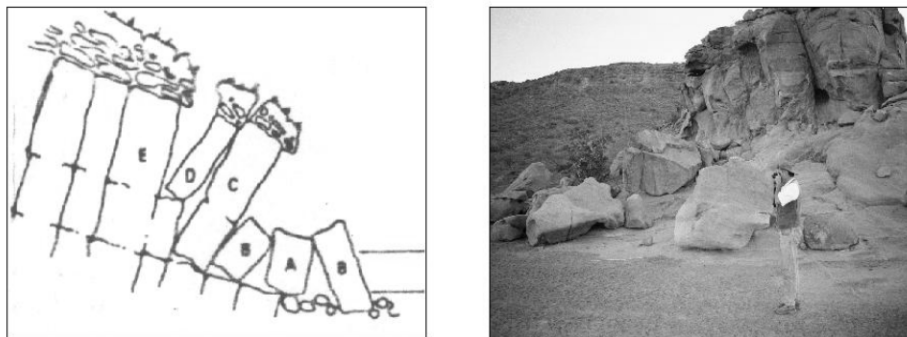
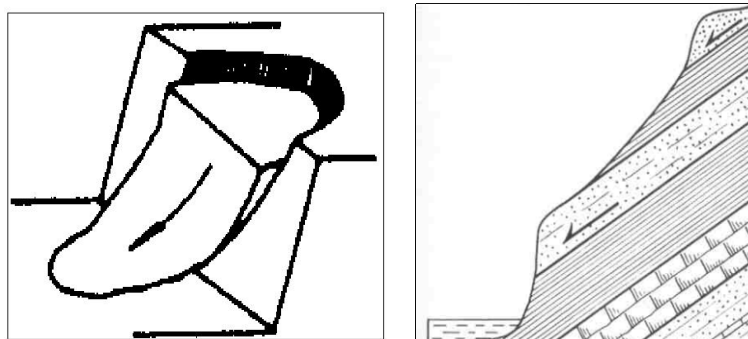


Figura 5-4. Proceso de volcamiento de material rocoso por rotación sobre un punto de apoyo

5.1.2.3 Deslizamiento

Los deslizamientos se caracterizan por exhibir un desplazamiento de cizalla a lo largo de una o varias superficies de ruptura.



a) Deslizamiento rotacional

b) Deslizamiento traslacional

Figura 5-5. Tipos de deslizamientos

5.1.2.4 Flujos

Los flujos pueden ser secos o húmedos, y más frecuentemente están conformados por materiales como escombros y tierra, aunque también se pueden presentar algunos casos en que están integrados por material rocoso. Los flujos de fragmentos de roca son extremadamente rápidos, y pueden ser generados por una caída de rocas, o por fuertes eventos sísmicos (Case, J.C. 2000).

Los flujos de escombros y los flujos de tierra, se asemejan mucho al comportamiento característico de fluidos, al permitir una clara integración del agua con la masa en movimiento. El tipo particular de fenómeno, dependerá del contenido de agua, la movilidad (velocidad) y el carácter del movimiento (Figura 5-6). En general los movimientos se hacen mucho más rápidos a causa de menores cohesiones, mayor contenido de agua y mayores pendientes.

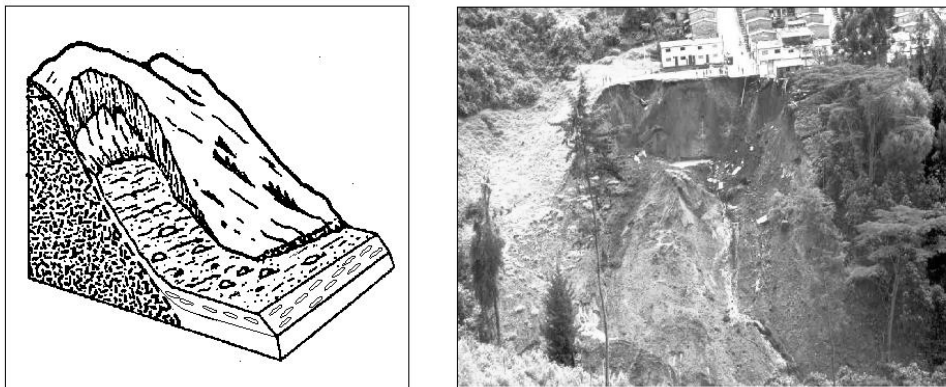


Figura 5-6. Izquierda flujo de escombros. Derecha flujo de tierra

Los flujos de tierra, consisten de material lo suficientemente húmedo para fluir rápidamente, y contienen al menos el 50 % de partículas de tamaño arena, limo y arcilla (Fotografía 5-1).



Fotografía 5-1. Flujo de tierra con un gran contenido en agua

5.1.2.5 Licuación

El término licuación, incluye los fenómenos que origina pérdida de resistencia en cizalla, o al desarrollo de grandes deformaciones por efecto de una perturbación transitoria o repetida de suelos no cohesivos y saturados (Committee on Earthquake Engineering – Commission on

Engineering and Technical Systems – National Research Council, 1985). Las deformaciones son impuestas por vibraciones relacionadas a eventos sísmicos.

Son muchos los fenómenos que se pueden relacionar con la licuación, ya sea porque ocurren durante el proceso, o como efecto de la licuación, entre estos se pueden diferenciar los siguientes (op. Cit.):

- **“Volcanes” de arena:** No es un tipo de licuación, sino más bien una evidencia diagnóstica en superficie de la elevación de la presión de poros y licuación en estratos del subsuelo en una profundidad somera. Se origina cuando agua asciende violentamente a la superficie, y transporta sedimento suspendido, que al salir forma en la superficie un depósito de forma cónica, alrededor del agujero de salida.
- **Flujo:** En algunos casos puede ser más la causa que el fenómeno mismo, como es el caso de flujos conformados por suelos licuados (Figura 5-7).

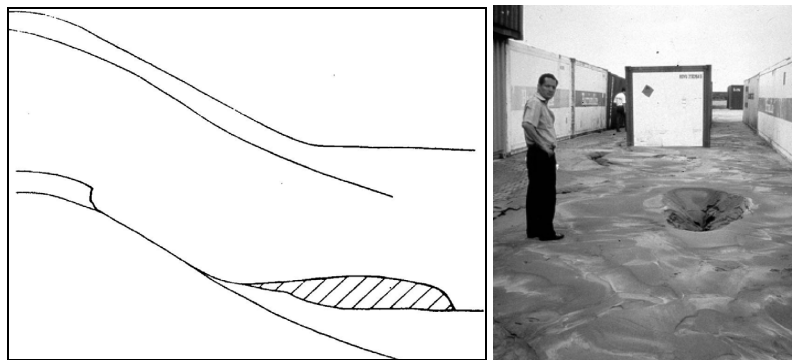


Figura 5-7. Esquema ilustrando un flujo generado por licuación

- **Propagaciones laterales:** Su ocurrencia está determinada por fuerzas inerciales y gravitacionales, y requieren un mínimo grado de pendiente y disponer de una cara libre hacia donde moverse.

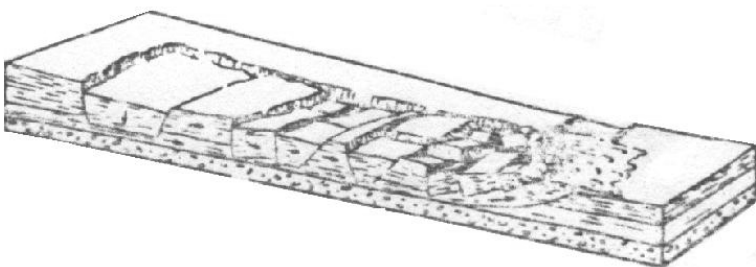


Figura 5-8. Fenómeno de propagación lateral

- **Oscilaciones del suelo:** Allí donde la pendiente es muy suave, para permitir desplazamientos laterales, se presenta entonces fuerte empuje repetido, en una y otra dirección sobre los materiales localizados sobre las capas licuadas, manifestándose entonces oscilaciones particulares en superficie, acompañadas de grietas que se abren y cierran sucesivamente, y generando asentamientos localizados (Figura 5-9).

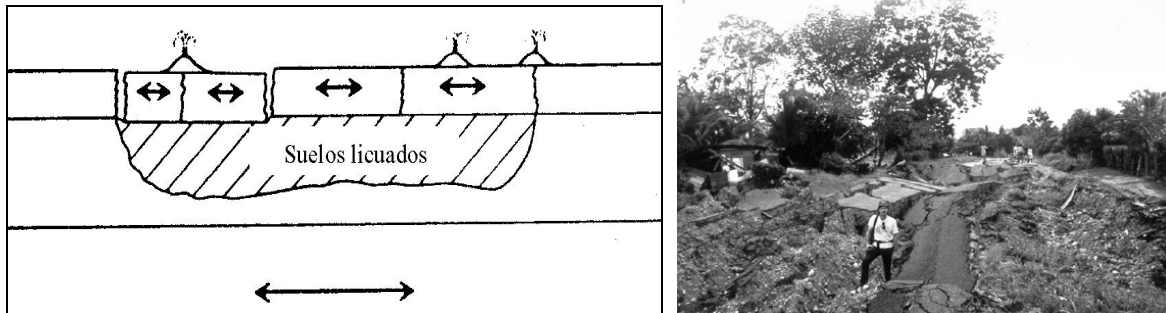


Figura 5-9. Esquema ilustrando el mecanismo de oscilación del suelo

5.1.2.6 Subsistencia

El fenómeno de subsistencia se manifiesta por medio de hundimientos diferenciales del terreno, sin evidenciar una componente horizontal clara o importante de movimiento. El proceso de subsistencia es tan sólo la expresión superficial, y último paso, de una gran variedad de mecanismos subsuperficiales de índole natural, que en algunos casos pueden ser acelerados e incluso iniciados por actividades antrópicas que involucran excavaciones, carga, o cambios en el régimen del agua (Allen, A.S., 2000). El término subsistencia incluye tanto procesos de hundimiento lento como colapsos súbitos en la superficie del suelo, cualquiera sean las dimensiones del área afectada, la tasa de desplazamiento, o su mecanismo de origen.



Figura 5-10. Fenómeno de subsistencia que provoca asentamiento de puentes y vías

5.1.2.7 Erosión superficial

En términos generales la erosión hídrica superficial se divide en: erosión por impacto de lluvia, erosión laminar y erosión concentrada.

La erosión pluvial se relaciona al golpeteo directo de las gotas de lluvia sobre la parte más superficial del suelo, cuando el suelo se encuentra desprovisto de vegetación, causando desintegración de las partículas, y haciendo que éstas salten, para luego ser fácilmente transportadas por el agua de escorrentía.

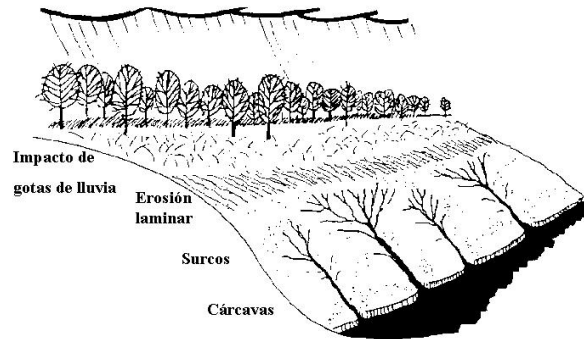


Figura 5-11. Tipos de erosión hídrica superficial y su avance sobre una ladera

La erosión laminar se presenta cuando el agua superficial desciende a través de la ladera en forma de un flujo amplio y laminas uniformes. Este proceso es responsable del transporte de partículas liberadas por el proceso de golpeteo.

La erosión fluvial se produce cuando la energía del flujo de un cauce genera desprendimiento y transporte de material de suelo o roca, ya sea desde el fondo del cauce (profundización de cauces) o de las paredes del canal (socavación de orillas).

5.1.2.8 Erosión subterránea

El desarrollo de canales subterráneos, en materiales inconsolidados o friables puede conducir al colapso superficial. Para su ocurrencia se requiere de agua infiltrada a través de materiales superficiales permeables, ya sea por la textura, u otras causas tales como grietas de desecación y cavernas de animales como roedores (Iri Inc., 1993 y Allen, A.S., 2000). En la Fotografía 5-2, se ilustra un ejemplo de tubificación afectando materiales cuya matriz ha sido removida parcialmente.



Fotografía 5-2. Proceso de tubificación por lavado de matriz en depósitos de grano grueso.

5.2 PATOLOGÍAS ASOCIADAS A LOS MECANISMOS DE FALLA ESTRUCTURAL

Para evaluar con certidumbre el estado de una edificación afectada por un evento sísmico, es esencial reconocer las manifestaciones que evidencian el paso de la estructura por los diferentes mecanismos en la ruta que conduce hacia el colapso.

El comportamiento estructural obedece a un gran número de factores que incluyen: el diseño estructural, la naturaleza y la calidad de los materiales, los procedimientos y la calidad de la construcción, el tipo y la duración de las cargas de servicio, y la exposición ambiental.

Materiales frágiles, como el concreto y la mampostería, tienen resistencias relativamente bajas a tensiones de tracción. El metal, la madera y la guadua son más dúctiles. Por eso, el concreto y la mampostería estructurales son materiales compuestos de refuerzos metálicos y poliméricos embebidos en una matriz frágil. Sin embargo, independientemente del material estructural, los acabados generalmente incluyen materiales frágiles que se fisuran fácilmente.

Por otra parte, las acciones ambientales asociadas a procesos físico-químicos o electro-químicos, pueden causar deterioro de los materiales, aún sin que medie aplicación de cargas. En síntesis, cualquier mecanismo que resulte en deformaciones que superen la resistencia a tracción de los materiales resulta en fisuración, que puede manifestarse de muchas maneras:

- ✓ Agrietamiento
De acuerdo con el mecanismo que la cause, la fisuración puede manifestarse como grietas independientes o grupos de grietas, alineadas o no, superficiales o profundas.
- ✓ Descascaramiento
El agrietamiento del material puede ocasionar el desprendimiento de pedazos de la superficie del material, lo que se describe generalmente como *descascaramiento*. Ocurre principalmente en materiales frágiles, como concreto, arcilla cocida, material de soldadura, hierro vaciado, entre otros, e implica porciones relativamente grandes, en comparación con el tamaño de los granos o partículas que conforman el material.
- ✓ Desconchamiento
Cuando el desprendimiento ocurre puntualmente y tiene tamaños pequeños, cercanos al tamaño de los granos que conforman el material, se le denomina *desconchamiento*. Ocurre principalmente en materiales frágiles.
- ✓ Delaminación
Ocurre cuando el agrietamiento del material lo separa en capas que conforman superficies relativamente definidas y continuas.
- ✓ Desintegración
Cuando la fisuración es tan extensa que el material pierde completamente su integridad.

Es importante reconocer adecuadamente estas manifestaciones para poder determinar sus probables causas, de manera que no se confunda una fisura debida a la acción mecánica de las cargas o a la acción del ambiente, con el resultado de cargas dinámicas durante un evento sísmico. Para este efecto, la Guía Técnica para la Inspección de Edificaciones Después de un Sismo, de la cual el presente documento es complemento, presenta, en sus apartes 2.5 y 2.6, guías para la evaluación de daños no estructurales y estructurales, que cubren elementos de concreto, de mampostería, de acero, de tapia, de bahareque y de madera.

Sin embargo, en el Anexo 1 se presenta una colección ilustrada de las principales causas y manifestaciones patológicas en estructuras de concreto y de mampostería, para ofrecer una guía más detallada de estos dos materiales que representan una mayoría en proporción con el total de la construcción de la ciudad.

5.3 PRINCIPALES MODOS DE FALLA DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

A continuación se presentan los principales modos de falla de elementos no estructurales, en general. Sin embargo, en el Anexo 2, se presentan con detalle los modos de falla de los muros no estructurales de mampostería, que representan los elementos no estructurales más abundantes e importantes en las edificaciones de la ciudad.

5.3.1 CAIDA

La caída de objetos es la causa más común de heridas. Cuando los objetos no se encuentran debidamente anclados y son sometidos a fuerzas sísmicas, dependiendo de su localización, tamaño, forma y orientación pueden sufrir caída. Consecuentemente, parapetos, recubrimientos exteriores, equipos suspendidos o cielo rasos muy pesados son los más susceptibles a sufrir daños.



Fotografía 5-3. Caída de cielorraso muy pesados y con anclaje deficiente

5.3.2 VOLCAMIENTO

Componentes con un centro de gravedad alto, como paneles eléctricos, estanterías y particiones internas son susceptibles a volcarse, representando un gran peligro para los ocupantes.



Fotografía 5-4. Ejemplos de volcamiento

5.3.3 DESLIZAMIENTO

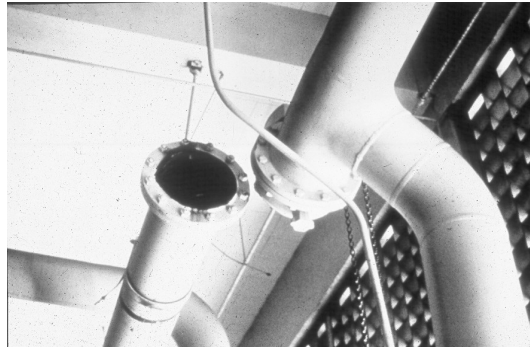
Elementos montados sobre pisos, techos o plataformas son principalmente susceptibles a deslizarse. Estos movimientos de deslizamientos pueden afectar conexiones eléctricas o de tuberías generando riesgo de incendios o derrames de agua. El deslizamiento puede causar daños a los elementos mismos o los elementos vecinos.



Fotografía 5-5. Ejemplos de falta de anclaje lateral y deslizamiento de objetos

5.3.4 VAIVEN O BALANCEO

Un componente suspendido, que sólo tiene soporte vertical, o anclaje deficiente, puede balancearse como un péndulo. Rompiendo tuberías o conexiones eléctricas y chocando con otros elementos vecinos. Si este elementos pierde su soporte vertical puede caerse sobre lo ocupantes.



Fotografía 5-6. Ejemplos de daño por vaivén o balanceo

6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- **Allen, A.S.** Types of Land Subsidence. Bureau of Mines, U.S. Department of the Interior, Washington, D.C. ([http://www.camnl.wr.usgs.gov/rgws/Unesco/PDF – Chapters/Chapter8.pdf](http://www.camnl.wr.usgs.gov/rgws/Unesco/PDF-Chapters/Chapter8.pdf)).
- **American Planning Association**, www.planning.org/landslides/docs/
- **Campbell, R.H.**, editor, 1985, Feasibility of a nationwide program for the identification and delineation of hazards from mud flows and other landslides: U.S. Geological Survey Open File Report 85-276, 58 p.
- **Case, J.C.** 2000. Wyoming Landslide Classification Scheme. Geologic Hazards Section, Wyoming State Geological Survey. En: <http://www.wrds.uwyo.edu/wrds/wsgs/hazards/landslides/classscheme.html>.
- **Colgan, P.M.** 2001. Chemical Weathering Processes. Northeastern University Geology Department, <http://www.casn.neu.edu/~geology/deparment/staff/colgan/>
- **Committee on Earthquake Engineering – Commission on Engineering and Technical Systems – national Research Council**, 1985. Liquefaction of Soils during Earthquakes. National Academy Press, Washington. D.C.. 635 p.
- **Consorcio Hydra Ingeniería Ltda.– Estudios Técnicos S.A.**, 2000. Monitoreo de taludes. Estudio de consultoría No. 508. FOREC, Fundación Vida y futuro.
- **CORPOCALDAS – INVÍAS**, 1998. Manual para el control de la erosión. Editar S.A. Impresos Comerciales Editorial La Patria S.A. Manizales, 239 p.
- **Emmons, Peter H.**, 1993. Concrete repair and maintenance illustrated. R.s. Means Company, Inc. Kingston, MA, 295 p.
- **FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY**, Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings, FEMA 306, Applied Technology Council, Project ATC-43, 1998, 250 p.
- **FOREC- Fundación Vida y Futuro**. 2000 a. Monitoreo de taludes (estudio de Consultoría No. 508). Consorcio Hydra Ingenieros LTDA – Estudios Técnicos S.A.
- **FOREC- Fundación Vida y Futuro** 2000 b. Anexo G. Guía para el diligenciamiento del formato de procesos (Adaptado de González, 1989) Monitoreo de taludes (estudio de Consultoría No. 508). Consorcio Hydra Ingenieros LTDA – Estudios Técnicos S.A.
- **Gedney, D.S. y Weber, W.G.**, 1978. Design and Construction of Soil Slopes. En: Schuster, R.L., and Krizek, R.J., editores, Landslide analysis and control: National Academy of Sciences, Transportation Research Board, Special Report 176, p. 172-191.
- **Hamilton, J.J.** CBD-184. Foundations on Swelling or Shrinking Subsoils. National Research Council Canada. <http://www.nrc.ca/cbd/cbd184e.html> (Publicación original año1977).

- **Holmes, A. y Holmes, D.** 1980. Geología Física. Ediciones Omega. Barcelona. 812 p.
- **Hoek, E. y Bray, J.W.** 1974. Rock Slope Engineering Institution of Mining and Metallurgy, Londres, 309 p.
- **IRI Inc.** 1993. Soil Survey Manual. (<http://www.irim.com/ssm/home.htm>: Soil Survey Staff, Natural Resource Conservation Service, Soil Survey Manual, United States Department of Agriculture, Handbook No. 18, Washington D.C., U. S. Government Printing Office) Intermountain Resource Inventories Inc.
- **Oldrich Hungr.** 2001. Universidad de British Columbia. <http://www.science.ubc.ca>.
- **Piteau, D.R. y Peckover, L.** 1978. Engineering of Rock Slopes. En: Schuster, R.L., and Krizek, R.J., editores, Landslide analysis and control: National Academy of Sciences, Transportation Research Board, Special Report 176, p. 192-228.
- **Rico, A. y Del Castillo, H.** 1974. La Ingeniería de suelos en las vías terrestres, carreteras, ferrocarriles y Aeropistas. Volumen 1, Noriega Editores – Editorial Limusa, Reimpresión 1990, 459 p.
- **Schoeneberger, P.J. Wysocki, D.A. Benham, E.C y Broderson, -W.D.** 1998. Field Book for Describing and Sampling Soils, Version 1.1. National Soil Survey Center-Natural Resources Conservation Service – U.S. Department of Agriculture U.S Department of Agriculture. Lincoln, Nebraska.
- **Van Zuidam, R.A.**, 1986. Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping. ITC. Smits Publisher, P. 1-442.
- **Varnes, D.J.**, 1978, Slope movement types and processes, En: Schuster, R.L., and Krizek, R.J., editores, Landslide analysis and control: National Academy of Sciences, Transportation Research Board, Special Report 176, p. 11-33.
- **Vlčko, Ján**, 1999. Engineering geological failures on historic structures and historic sites. Comenius University – Faculty of Natural Sciences Bratislava. Acta Geologica Universitatis Comenianae Number: 54 (<http://www.fns.uniba.sk/prifuk/casopisy/geol/199954/vicko.htm>).

**ANEXO 1. CATÁLOGO DE PATOLOGÍAS EN CONCRETO Y MAMPOSTERÍA
ESTRUCTURALES**

A.1.1. Introducción

La realización de un catálogo de patologías es una tarea dispendiosa y, quizá, inalcanzable en su totalidad. Como se ilustra con la Figura A-1, son muchas los posibles factores que generan patologías en materiales, elementos y estructuras. Además, diferentes mecanismos pueden dar origen a las mismas manifestaciones patológicas. De tal manera, este catálogo no es una clasificación completa del universo de posibilidades causa-efecto en la ingeniería estructural. Por el contrario, es una guía básica en la cual se puede basar el discernimiento sobre la identificación de daños estructurales y no estructurales, tras un evento sísmico.

Sin embargo, para ello, debe diferenciarse los daños debidos a otras causas de los sufridos por fuerzas sísmicas. Por lo tanto, este catálogo se inicia con una síntesis de los daños más comunes debidos a exposición ambiental para luego pasar a las acciones físico-mecánicas, de las cuales las acciones sísmicas se han listado en último lugar. El formato para la presentación de cada uno de estos grupos de manifestaciones patológicas es diferente. Solamente las acciones sísmicas se clasifican aquí en términos de su severidad, ya que son estas las que son objeto de este manual. Las demás se clasifican en términos de características y causas, para permitir su diferenciación de las anteriores.

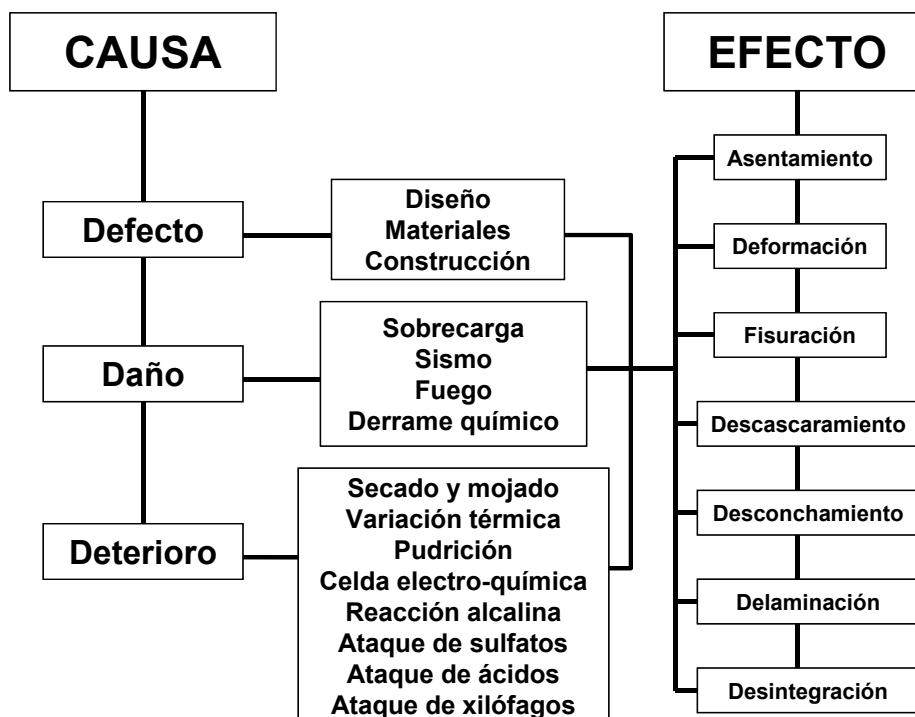


Figura A-1. Causas y efectos de las principales manifestaciones patológicas estructurales

A.1.2. Manifestaciones de la exposición ambiental

El medio ambiente puede agredir los materiales hasta causar manifestaciones patológicas, de acuerdo con la naturaleza de cada material. Por ejemplo, ciclos de mojado y secado pueden atacar a la madera, al concreto y a la arcilla cocida, produciendo agrietamiento, descascaramiento y hasta desintegración.

Los metales pueden sufrir corrosión por celda electro-química que le causa desde descascaramiento hasta desintegración. Cuando el acero de refuerzo del concreto o la mampostería se corroe, el deterioro se manifiesta como fisuras en la superficie del material, paralelas a la barra corroída.

Todos los materiales sufren cambios volumétricos con cambios en la humedad relativa del aire y con variaciones en la temperatura ambiente, que pueden eventualmente incidir en su integridad.

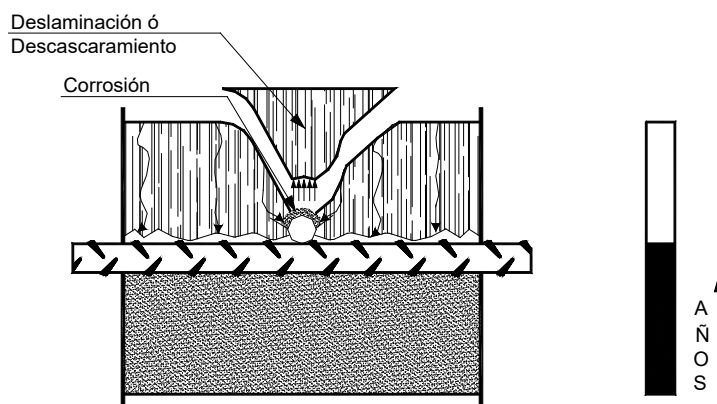
Muchas de las manifestaciones patológicas por exposición ambiental son agrietamientos superficiales en forma de tela de araña, descascaramientos, desconchamiento y desintegración. Los agrietamientos debidos a reacción alcalina están acompañados usualmente de exudación de una gel blancuzca de sílice.

Las siguientes figuras ilustran algunas de las manifestaciones patológicas por exposición ambiental de los materiales, de acuerdo con el tipo de ataque involucrado.

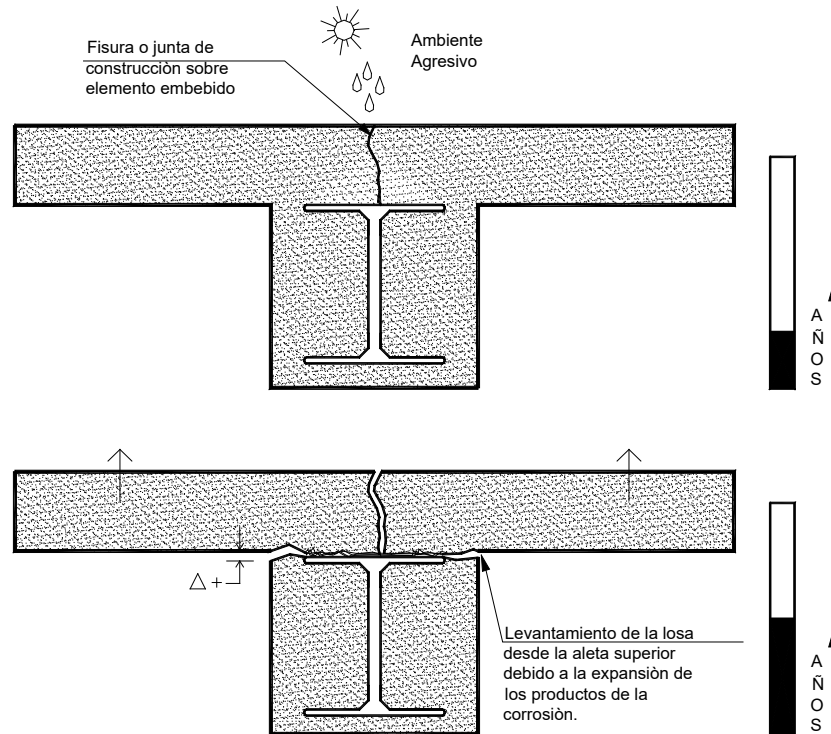
A.1.2.1. Corrosión galvánica

La corrosión de los metales pueden afectar seriamente la integridad de los elementos fabricados con estos materiales, sean elementos de acero estructural o elementos de concreto o mampostería reforzados. Los productos de la celda electro-química tienen mayor volumen que los componentes originales, lo que genera las tensiones internas que terminan por desintegrar el metal.

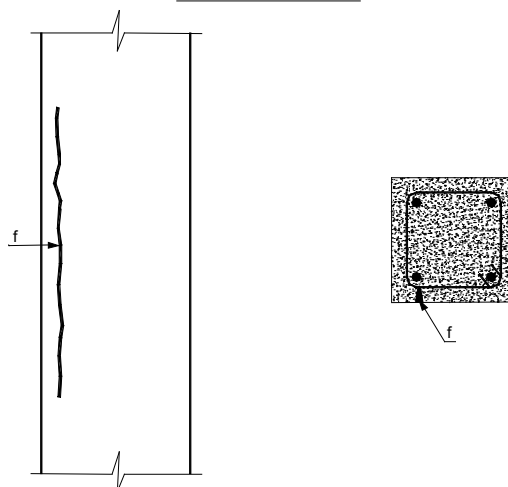
CORROSION DE REFUERZO



CORROSION DE ELEMENTO ESTRUCTURAL



FISURA EN UN PILAR PRODUCIDA POR CORROSION DE LA ARMADURA



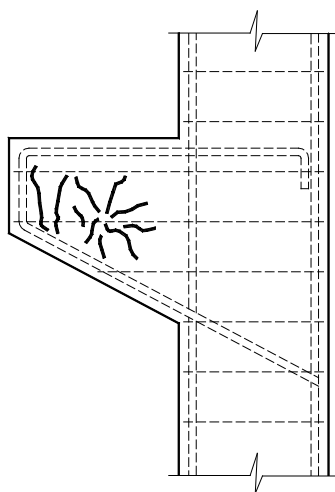
Características

- ✓ Fisuras superpuestas longitudinalmente a la armadura
- ✓ Aparecen preferentemente en barras de esquina
- ✓ El ancho evoluciona hasta valores muy altos (hasta 0.5/1mm)
- ✓ Usualmente aparecen entre dos y cinco años a partir del hormigonado

Causas

- ✓ Corrosión de la armadura, bien por escasez de recubrimiento, o por falta de capacidad de protección del concreto de recubrimiento.
- ✓ La formación de óxido ejerce presión sobre el recubrimiento provocando su estallido.

FISURACION POR CORROSION DE ARMADURAS



Características

- ✓ Fisuras variadas y dispersas en zonas de alta densidad de armaduras superficiales.
- ✓ El ancho evoluciona hasta valores muy altos (0.5/1mm)

Causas

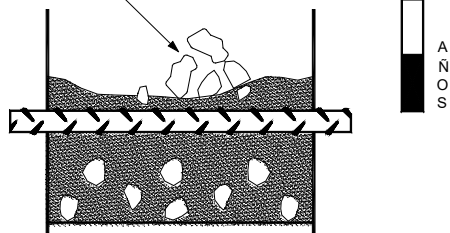
- ✓ La causa es la corrosión de la armadura, bien sea por escasez de recubrimiento, o por falta de capacidad de protección del concreto.
- ✓ La formación de óxido ejerce presión sobre el recubrimiento provocando su estallido

A.1.2.2. Ciclos de humedad, reacción álcali-sílice, ataque de sulfatos.

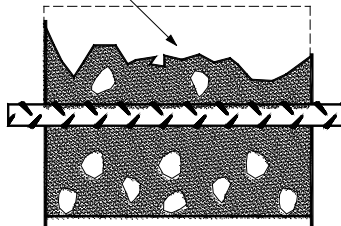
El agua puede ser agente reactivo y medio de transporte para agentes agresivos. Los ciclos de mojado y secado, con hielo o sin hielo, pueden ocasionar la erosión de los materiales frágiles con su consiguiente desintegración. Asimismo, el agua puede ser parte de la reacción agresiva, como componente en la reacción entre álcalis en el cemento y ciertas formas de sílice amorfa en algunos agregados, o en el ataque de sulfatos de suelos a aguas subterráneas. Todas estas reacciones implican cambios volumétricos que terminan por generar tensiones potencialmente dañinas en el interior del material.

ATAQUE DE ACIDOS

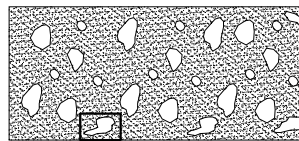
La matriz de cemento
 es atacada;
 Los agregados se
 desprenden



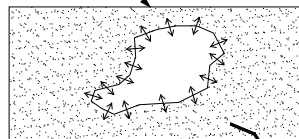
El ácido destruye
 agregados y erosiona
 la matriz del cemento.



REACCION ÁLCALI - AGREGADOS



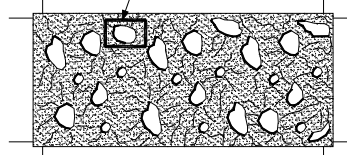
La Silice amorfa en
 los agregados, reacciona
 con Alcalis del cemento.



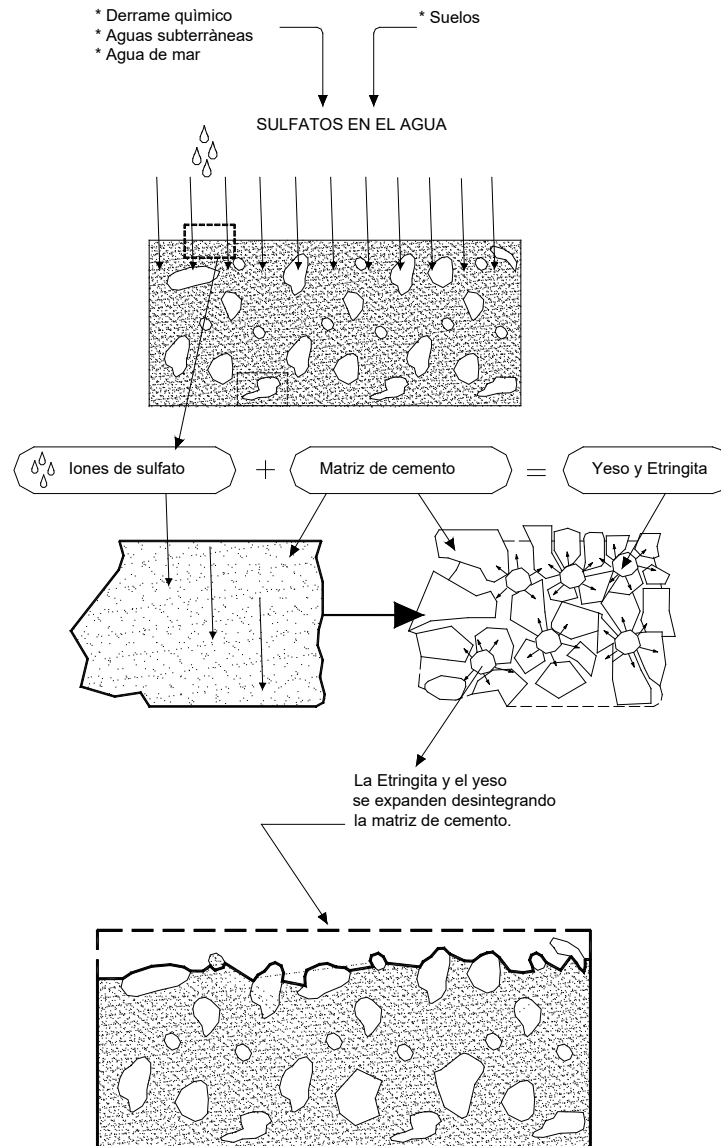
Se forma un gel en la
 superficie del agregado
 cuando hay suficiente
 humedad.



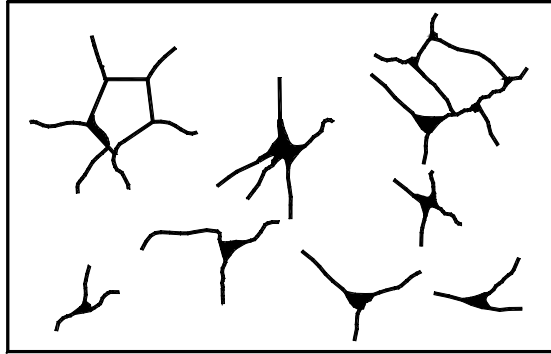
Cuando aumenta la
 humedad el gel se
 expande causando
 presiones que fisuran
 el concreto.



ATAQUE DE SULFATOS



FISURAS DE REACCION ALCALIS - ARIDOS



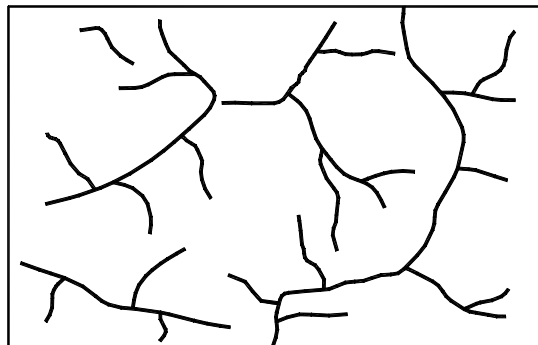
Características

- ✓ Fisuración en malla o en estrella
- ✓ A veces se presentan exudaciones blancas de gel o de calcita
- ✓ Pueden presentarse deformaciones notables de la superficie, o conos de expulsión de granos reactivos a la superficie.
- ✓ Suelen aparecer entre dos y cinco años de edad del concreto

Causas

- ✓ Debidas a una reacción entre áridos que contengan silico reactiva y cementos cuya concentración es alta en álcalis y solo se presentan en atmósfera húmeda.

FISURAS DE ATAQUE POR SULFATOS



Características

- ✓ Fisuras de distribución aleatoria
- ✓ Frecuentemente aparecen depósitos blancos en los bordes de la fisura

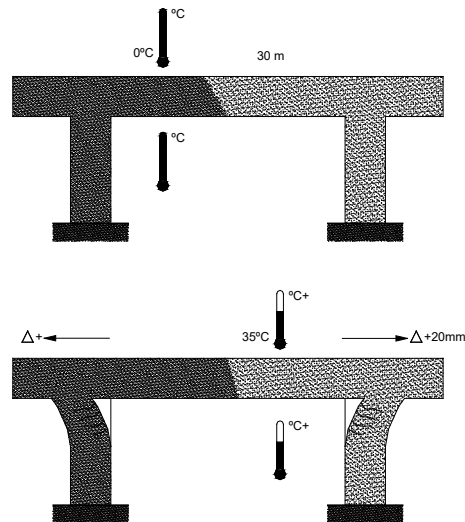
Causas

- ✓ Son debidas a la reacción del ión sulfato con algunos componentes del cemento (aluminatos, calcio, etc..)

A.1.2.3. Cambios de volumen por variaciones de humedad y de temperatura

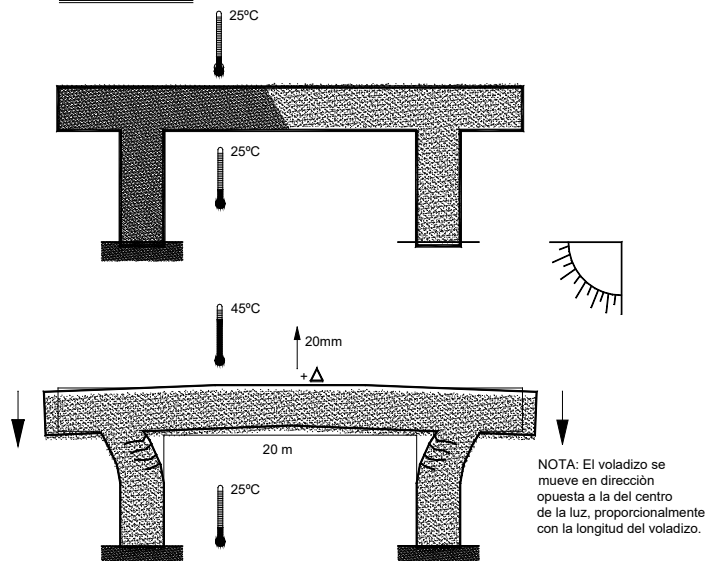
Todos los materiales cambian su volumen con cambios en la temperatura ambiental. Además, los materiales permeables también varían de volumen cuando se saturan con agua o cuando se secan. Estos cambios volumétricos pueden generar tensiones en el material que, a su vez, pueden fisurarlo.

CAMBIOS VOLUMETRICOS POR GRADIENTES DE TEMPERATURA



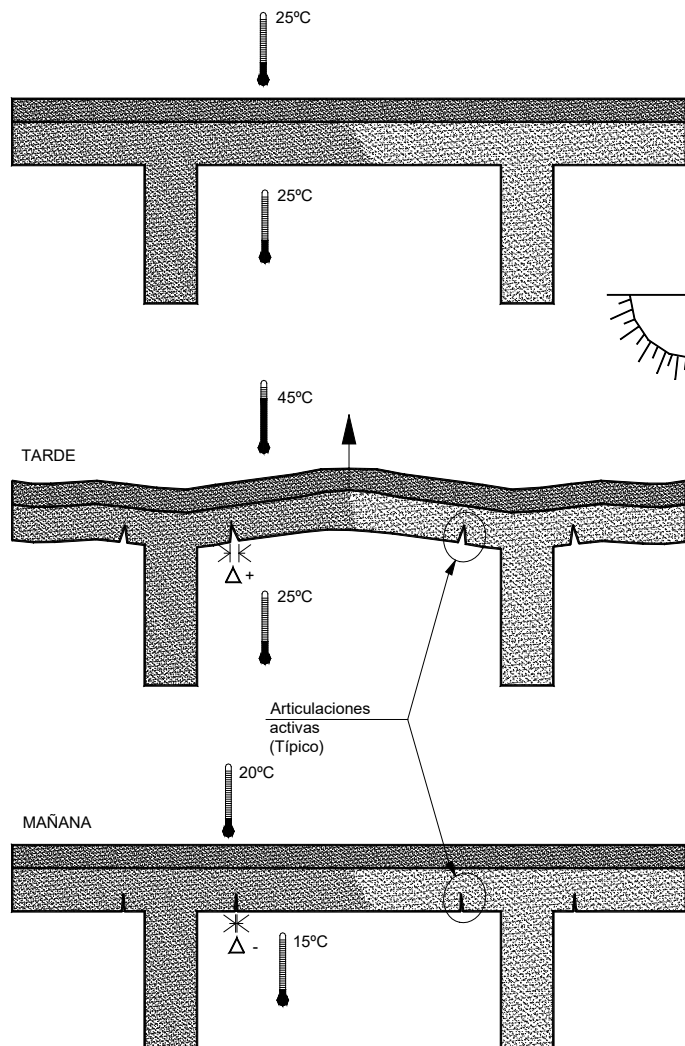
TEMPERATURAS DESIGUALES

* UNA SOLA LUZ

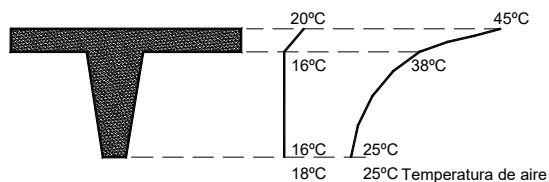


TEMPERATURAS DESIGUALES

*** LUCES CONTINUAS**

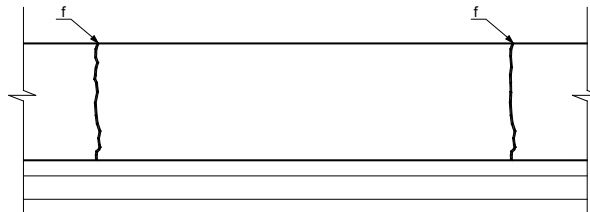


*** EJEMPLO DE GRADIENTES DE TEMPERATURA**

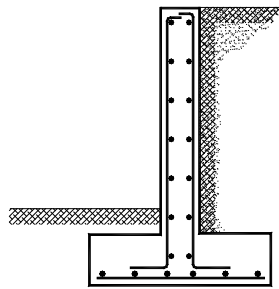


FISURACION DE UN MURO POR CONTRACCION

TÉRMICA INICIAL



ALZADO



SECCION

Características

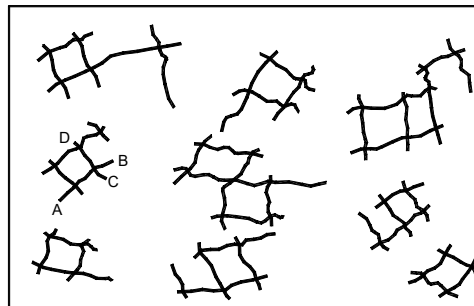
- ✓ Fisuras de ancho apreciable (0.15 a 0.3 mm)
- ✓ Aparecen generalmente entre un día y una semana a partir del vestido del concreto.

Causas

- ✓ Aparecen habitualmente en muros ejecutados sin juntas de contracción o sin suficiente armadura de retracción y temperatura.
- ✓ Enfriamiento demasiado rápido.
- ✓ Temperaturas altas (debidas a la lenta disipación del calor de hidratación), respecto a la temperatura ambiente. El acortamiento está impedido por coacciones externas, como el cimiento previamente hormigonado.
- ✓ Cemento inadecuado.

FISURACION DE UNA LOSA POR RETRACCION

HIDRÁULICA



PLANTA

Características

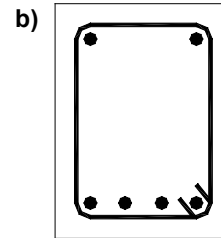
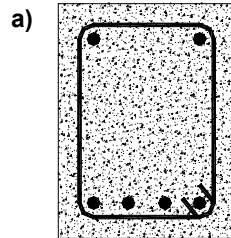
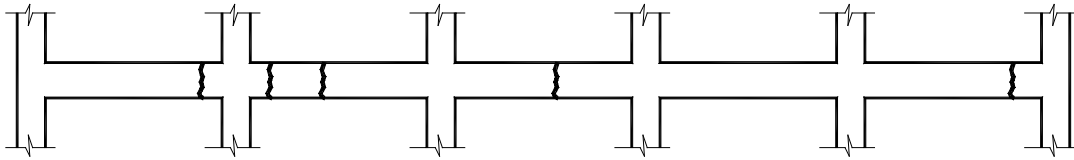
- ✓ Fisuras de pequeño ancho (0.05 a 0.2mm)
- ✓ Aparición algunas semanas después del endurecimiento del concreto.
- ✓ Si no hay una orientación preferente por cuantía alta de armaduras su presencia es anárquica
- ✓ Una vez aparecida una fisura como AB las tensiones en esa dirección, en esa zona, quedan liberados y las de la dirección ortogonal tienen tendencia a producir otra perpendicular como CD. Por eso esta fisuración recuerda la piel de cocodrilo

Causas

- ✓ Exceso de finos en la arena
- ✓ Cuantías mínimas insuficientes
- ✓ Curado escaso

FISURACION DE UNA DINTEL POR RETRACCION

HIDRÁULICA



Características

- ✓ Fisuras de pequeño ancho (0.05 a 0.2mm)
- ✓ Aparición algunas semanas o meses después del endurecimiento del concreto
- ✓ Frecuentemente presenta distribución asistemático a lo largo de la luz
- ✓ Ancho de fisura uniforme en todo el canto .
- ✓ Las fisuras no se cierran en la cabeza comprimido de la viga (si hay forjado asociado, puede continuar por la cara inferior del forjado)
- ✓ Según los casos, la fisura corta o no la sección (Ver la figura a y b)

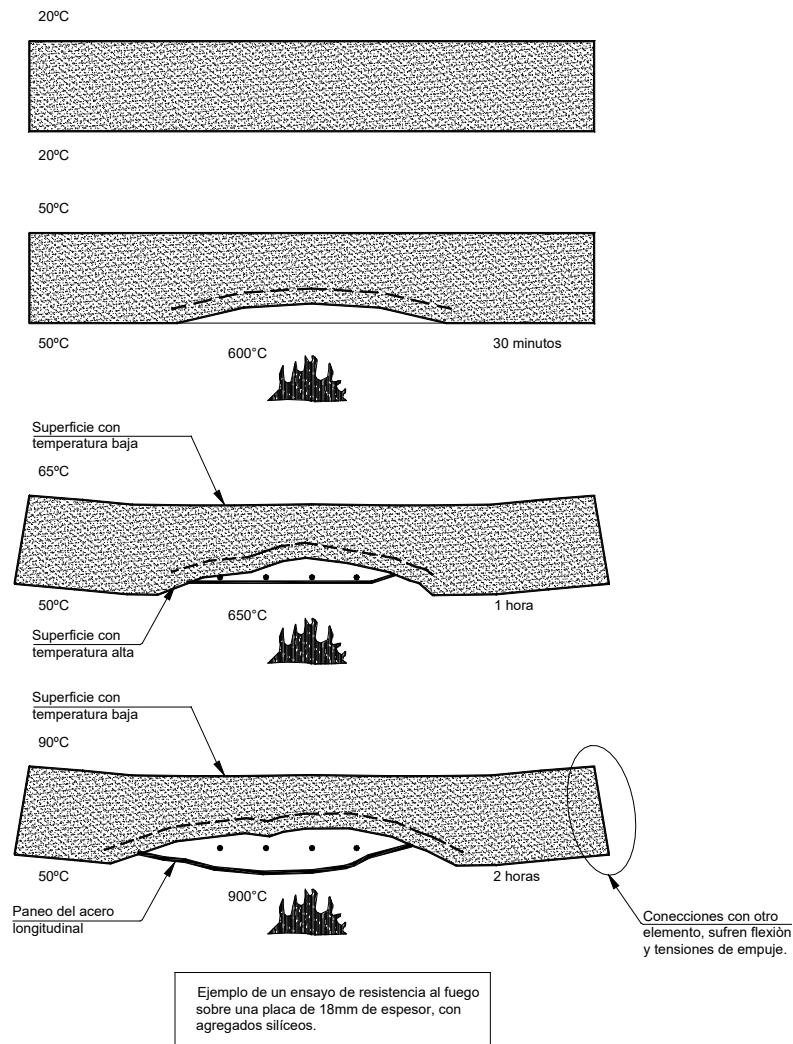
Causas

- ✓ Exceso de finos en la arena.
- ✓ Cuantías mínimas insuficientes.
- ✓ Curado escaso

A.1.2.4. Fuego

Todos los materiales son vulnerables al ataque por fuego en mayor o menor medida. Aunque el concreto y la mampostería común pierden resistencia y rigidez con una relación menor que los metales, no es inmune al daño por altas temperaturas.

DAÑO POR FUEGO



A.1.3. Manifestaciones de acciones físico-mecánicas

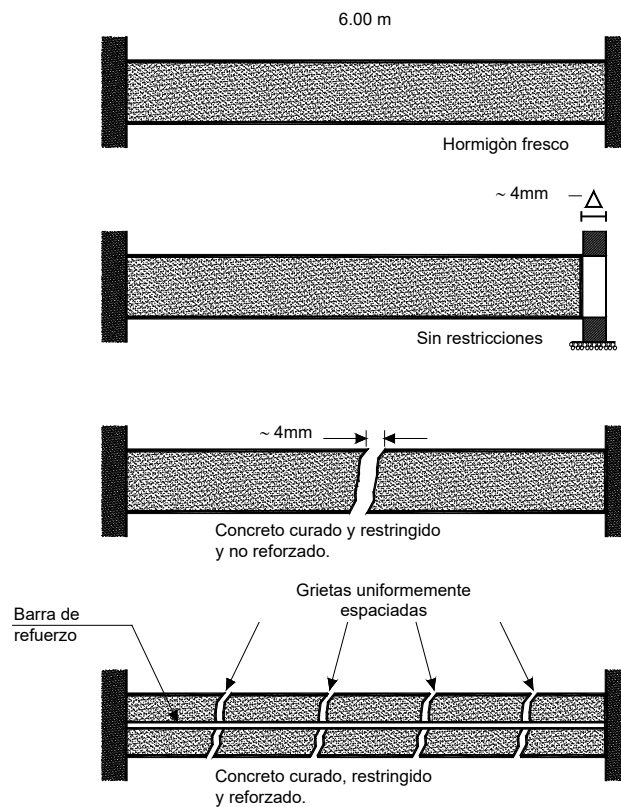
Diversas acciones mecánicas pueden resultar en manifestaciones patológicas estructurales. A continuación se ilustran las manifestaciones de las principales acciones mecánicas sobre estructuras.

A.1.3.1. Cambios de volumen por retracción y flujo plástico

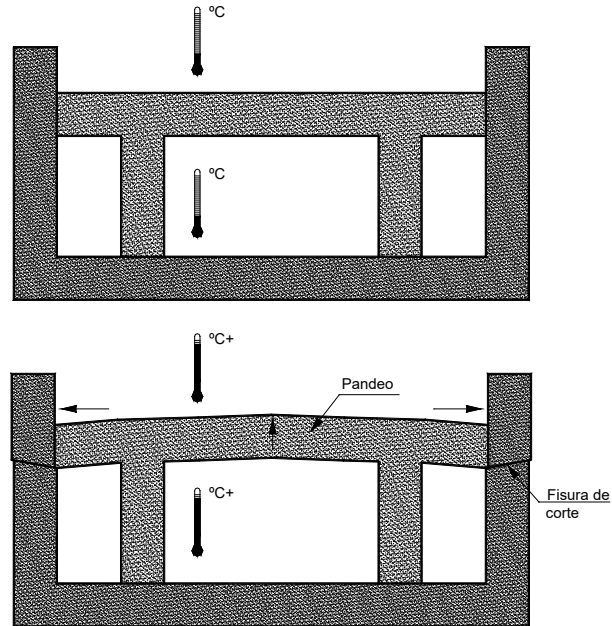
Todos los materiales se relajan bajo carga, con el tiempo. Este fenómeno de flujo a largo plazo, sucede lentamente, aumenta paulatinamente las deformaciones elásticas iniciales y puede afectar los elementos estructurales y no estructurales, especialmente cuando los movimientos adicionales se encuentran con restricciones.

El concreto, además, se contrae a medida que el agua de la mezcla reacciona químicamente con el cemento, aún después de haber iniciado el proceso de fraguado y haber ganado resistencia y dureza. Si el elemento tiene restricciones ante esta contracción, puede fisurarse severamente.

RETRACCION POR PERDIDA DE HUMEDAD

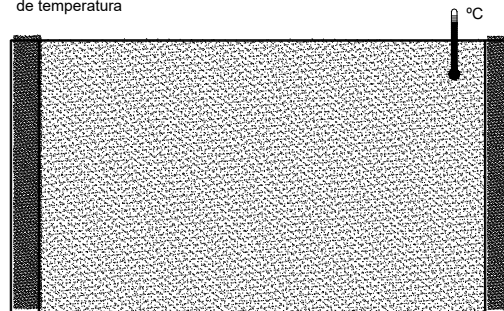


**RESTRICCIÓN PARA CAMBIOS VOLUMÉTRICOS
 POR CAMBIOS TÉRMICOS**

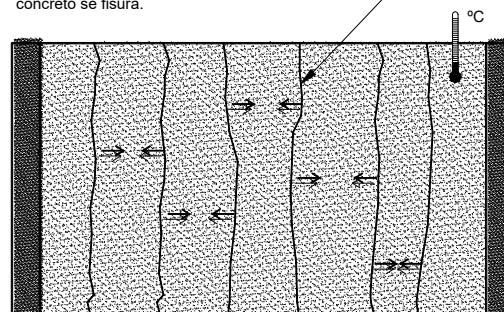


FISURACIÓN TEMPRANA DE HORMIGÓN FRESCO

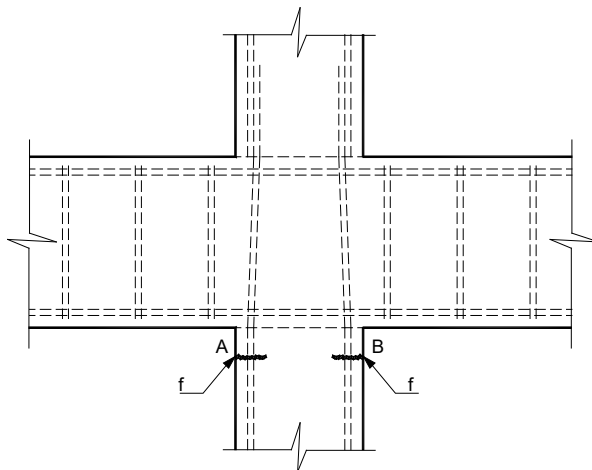
Hormigón vaciado con incremento
 de temperatura



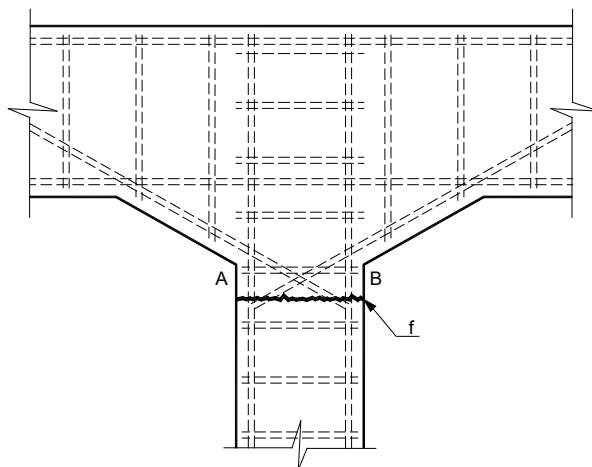
Cuando el concreto se enfría, se contrae.
 Si existen restricciones al movimiento, el
 concreto se fisura.



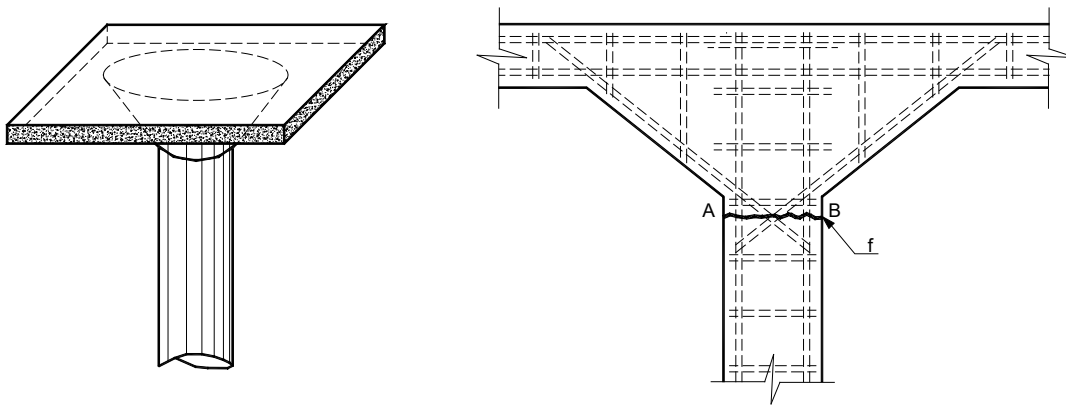
FISURACION POR ASIENTO PLASTICO EN CABEZA DE COLUMNA



FISURACION POR ASIENTO PLASTICO EN LA UNION DE DINTEL A COLUMNA



FISURACION POR ASIENTO PLASTICO EN EL FUSTE DE UNA COLUMNA

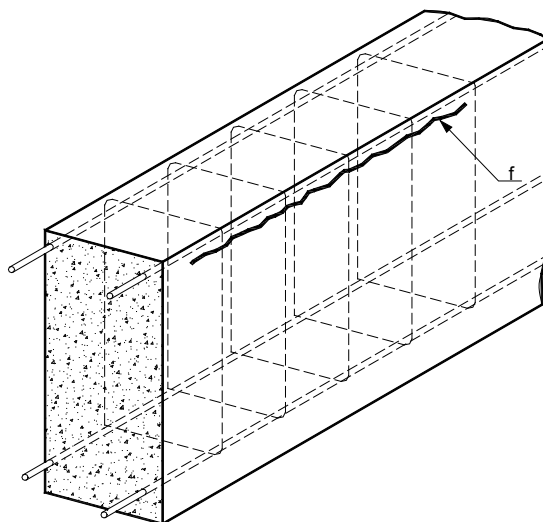


Características

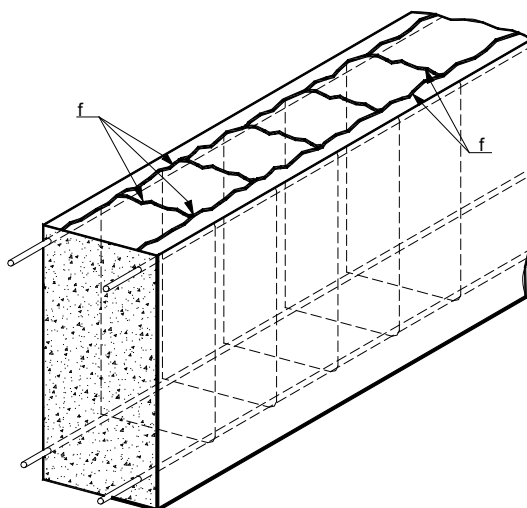
- ✓ Fisuras que aparecen generalmente a un nivel ligeramente inferior al del estribo en la cabeza de la columna (AB es la junta de construcción)
- ✓ Fisuras del ancho apreciable (0.2 a 0.4mm) y generalmente de poca profundidad, aparecen antes de tres horas de vertido al concreto pero no son observables debido al encofrado de la columna hasta que se procede al desencofrado
- ✓ Están motivadas por la coacción que los estribos producen al asiento plástico del concreto situado sobre ellos. El concreto del núcleo y el situado bajo el estribo descenden libremente.
- ✓ Se producen en la cabeza donde el concreto tienen una mayor relación A/C por el vibrado y no hay peso de concreto fresco encima en ese momento.

Causas

- ✓ Exceso de exudación
- ✓ Hormigonado con altas temperaturas ambientes o viento
- ✓ Exceso de relación A/C
- ✓ Exceso de finos en la arena
- ✓ Cemento inadecuado
- ✓ Empleo incorrecto de retardadores
- ✓ Armadura con poco recubrimiento.



FISURACION POR ASIENTO PLASTICO EN VIGA



Características

- ✓ Fisuras de ancho apreciable (0.15 a 0.3mm) y generalmente de poca profundidad
- ✓ Las fisuras siguen las armaduras principales o los estribos
- ✓ Se produce en las primera tres horas a partir del vertido

- ✓ Esta motivada por la coacción que la armadura ejerce sobre el descenso por asiento plástico del concreto.

Causas

- ✓ Exceso de exudación
- ✓ Hormigonado con altas temperaturas ambientes o viento
- ✓ Exceso de relación A/C
- ✓ Exceso de finos en la arena
- ✓ Cemento inadecuado
- ✓ Empleo incorrecto de retardadores
- ✓ Armadura con poco recubrimiento.

FISURAS DE UNA LOSA O PAVIMENTO

POR RETRACCION PLÁSTICA



PLANTA

Características

- ✓ Fisuras de ancho apreciables (0.2 a 0.4mm) y escasa profundidad.
- ✓ Aparición desde una a seis horas desde vertido el concreto.
- ✓ Con frecuencia las direcciones predominantes coinciden con la menor cuantía de armadura, dirección del viento durante la puesta en obra, variación de espesor, etc..

Causas

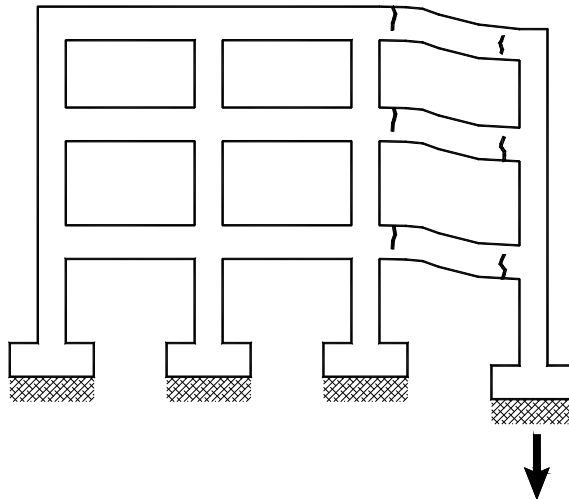
- ✓ Evaporación muy rápida del agua en la superficie
- ✓ Velocidad lenta de exudación
- ✓ Exceso de relación A/C
- ✓ Exceso de finos en la arena
- ✓ Cemento inadecuado
- ✓ Empleo incorrecto de retardadores
- ✓ Hormigonado con altas temperaturas ambientes o viento.
- ✓ Curado incorrecto

A.1.3.2. Asentamiento relativo entre apoyos

El suelo también se deforma bajo cargas, de manera que todo apoyo es susceptible de sufrir asentamientos a medida que la edificación se va cargando completamente. Por otra parte,

cambios en la humedad del suelo u otros muchos factores pueden ocasionar asentamientos relativos entre apoyos. Este movimiento diferencial puede ocasionar daños importantes en los elementos estructurales y no estructurales de una edificación.

FISURACION POR ASIENTO DE COLUMNA DE FACHADA



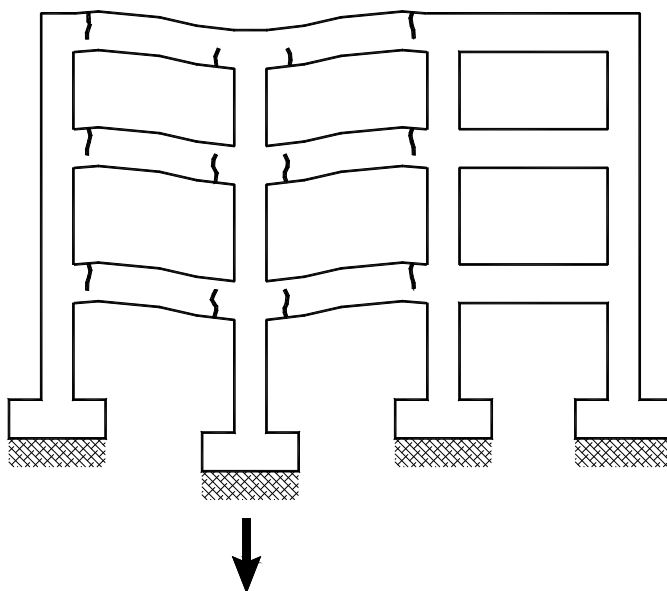
Características

- ✓ Fisuras de ancho variable
- ✓ Dirección vertical o de poca inclinación con la vertical
- ✓ La fisura aparece en cara inferior de viga junto a la columna que se asienta en la cara superior junto a la columna inmediata

Causas

- ✓ Asiento de la columna de esquina

FISURACION POR ASIENTO DE COLUMNA INTERMEDIA



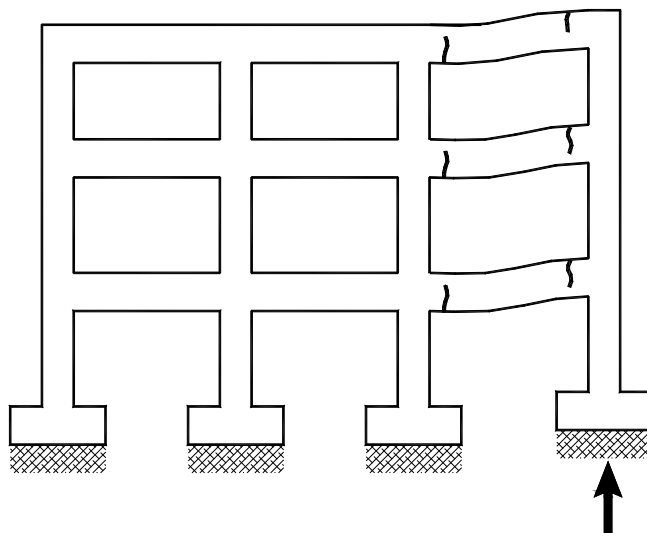
Características

- ✓ Fisuras de ancho variable
- ✓ Dirección vertical o de poca inclinación con la vertical
- ✓ La fisura aparece en cara inferior junto a la columna que se asienta, en las dos vigas que se apoyan en ella, y en cara superior en los extremos opuestos de dichas vigas
- ✓ La longitud de fisuras se reduce hacia las plantas superiores

Causas

- ✓ Asiento del la columna intermedia

FISURACION POR ASCENSO DE COLUMNA DE FACHADA



Características

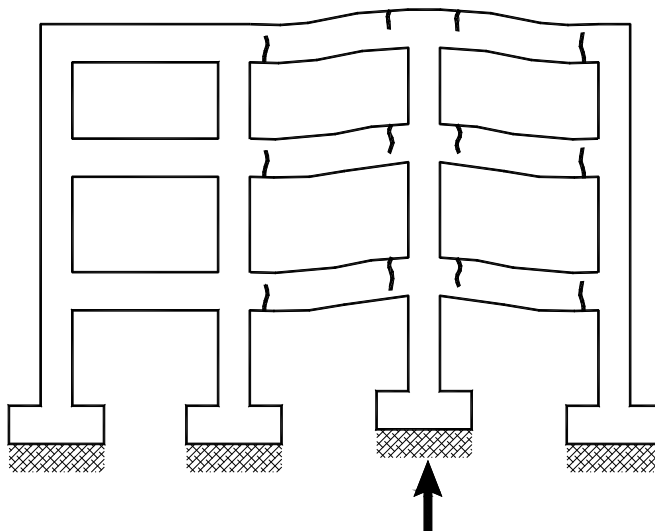
- ✓ Fisuras de ancho variable
- ✓ Dirección vertical o de poca inclinación con la vertical
- ✓ La fisura aparece en cara superior de viga junto a la columna que asciende y en la cara inferior en el extremo opuesto
- ✓ La longitud de fisuras se reduce hacia las plantas superiores

Causas

- ✓ Suelos expansivos
- ✓ Inyección del terreno en zonas próximas, que ejerza un empuje vertical sobre la cara inferior del cimiento, que supere la carga actuante sobre él en esa fase de construcción

NOTA: La sintomatología de este caso es muy similar a la de FISURACIÓN POR ASIENTO DE COLUMNA DE FACHADA

FISURACION POR ASCENSO DE COLUMNA INTERMEDIA



Características

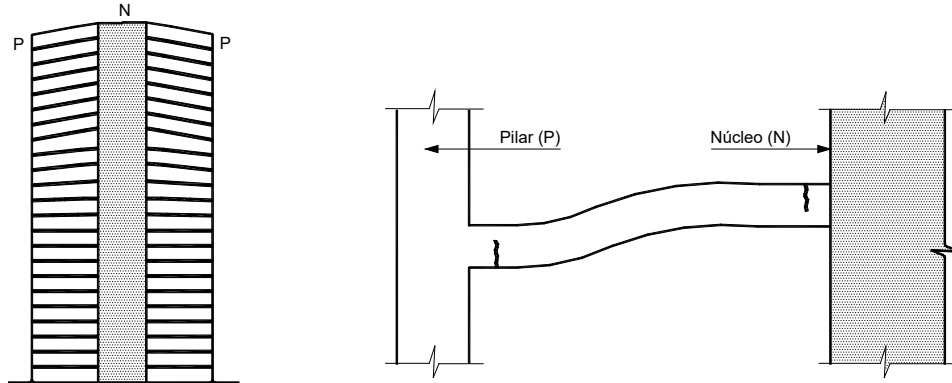
- ✓ Fisuras de ancho variable
- ✓ Dirección vertical o de poca inclinación con la vertical
- ✓ La fisura aparece en cara superior junto a la columna que asciende, entre las dos vigas que se apoyan en él, y en cara inferior en los extremos de dichas vigas
- ✓ La longitud de fisuras se reduce hacia las plantas superiores.

Causas

- ✓ Suelos expansivos
- ✓ Inyección de terreno en zonas próximas, que ejerza un empuje vertical sobre la cara inferior del cimiento, que supere la carga actuante sobre él en esa fase de construcción

NOTA: La sintomatología de este caso es muy similar a la de FISURACIÓN POR ASIENTO DE LA COLUMNA INTERMEDIA

FISURAS PRODUCIDAS POR DIFERENCIAS DE ACORTAMIENTO
ENTRE COLUMNAS Y NÚCLEO DE UN EDIFICIO ALTO



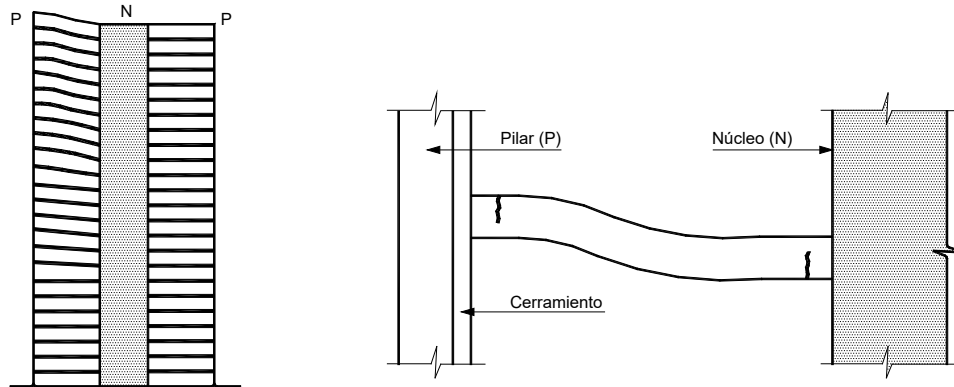
Características

- ✓ Fisuras de Ancho generalmente pequeño o media (0,05 a 0.15mm)
- ✓ Fisuras verticales o con poca inclinación respecto a la vertical
- ✓ La fisura está en cara superior de vigas o forjados junto al núcleo y en cara inferior junto a la columna de la fachada
- ✓ Habitualmente, se presenta sólo en edificios altos (más de veinte pisos)
- ✓ Son máxima en pisos altos y van reduciendo su importancia hasta desaparecer a medida que se descienda, no llegando nunca a los pisos bajos.

Causas

- ✓ La causa es la diferencia de acortamientos entre el concreto del núcleo N y de las columnas de fachada
- ✓ Habitualmente las columnas de fachada se dimensionan por razones puramente estructurales y su tensión de compresión en servicio es del orden del 30% de la resistencia característica y el núcleo se dimensiona por razones funcionales (alojar ascensores, escaleras, etc..) y su compresión en servicio suele ser inferior al 10% de la resistencia característica.
- ✓ Esta diferencia de tensiones de compresión origina una diferencia de acortamientos, especialmente de los debidos a la fluencia que al ir ascendiendo de planta, producen la fisuración indicada.

FISURAS PRODUCIDAS POR DIFERENCIAS DE TEMPERATURA
ENTRE COLUMNAS DE FACHADA SITUADAS EN EL EXTERIOR Y
NUCLEO INTERIOR EN UN EDIFICIO ALTO



Características

- ✓ Fisuras de ancho generalmente pequeño o medio (0.05 a 0.15 mm)
- ✓ Fisuras verticales o con poca inclinación respecto a la vertical
- ✓ La fisura está en cara inferior de vigas o forjados junto al núcleo y en cara superior junto a la columna de fachada.
- ✓ Habitualmente se presenta solo en edificios altos (más de veinte pisos) y solo cuando las columnas de fachada están dispuestas exteriormente al cerramiento
- ✓ Son máximas en pisos altos y van reduciendo su importancia hasta desaparecer a medida que se desciende, no llegando nunca a los pisos bajos.

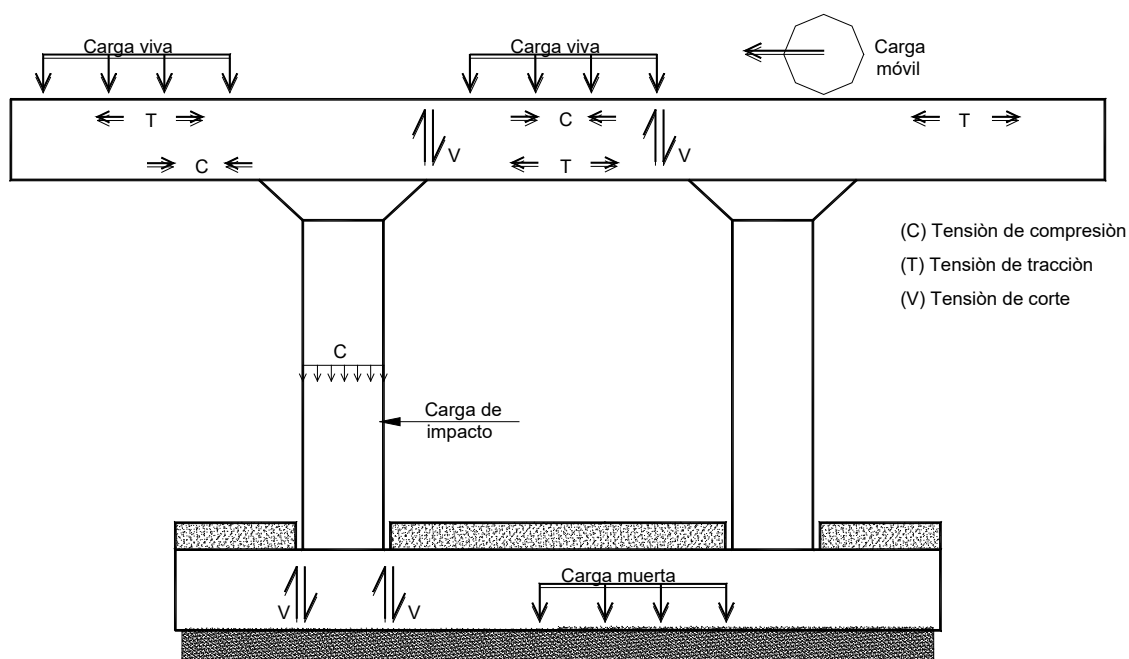
Causas

- ✓ La causa es el desigual alargamiento por temperatura de las columnas exteriores de fachada, expuestas a insolación directa y del núcleo, que en este tipo de edificios está generalmente en ambiente climatizado.
- ✓ En climas muy fríos el problema puede ser inverso, presentándose en ese caso la fisuración como se indica en el caso anterior

A.1.3.3. Deformaciones bajo carga estática

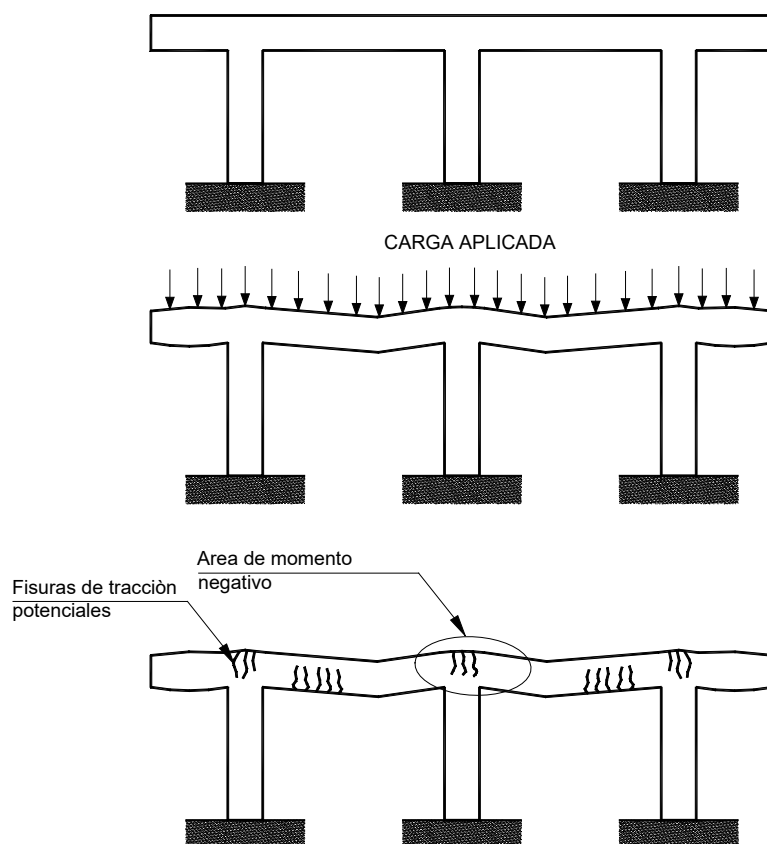
Todo material se deforma bajo carga. Estas deformaciones pueden generar fisuras leves. Por lo general, las cargas de servicio no producen daños significativos, a menos que existan problemas de diseño o de construcción. El concreto reforzado, por naturaleza debe fisurarse para que el acero pueda tomar las tensiones de tracción, aún en el intervalo elástico de su comportamiento. Estas fisuras, por lo tanto, no son necesariamente dañinas.

EFFECTOS DE CARGAS IMPUESTAS

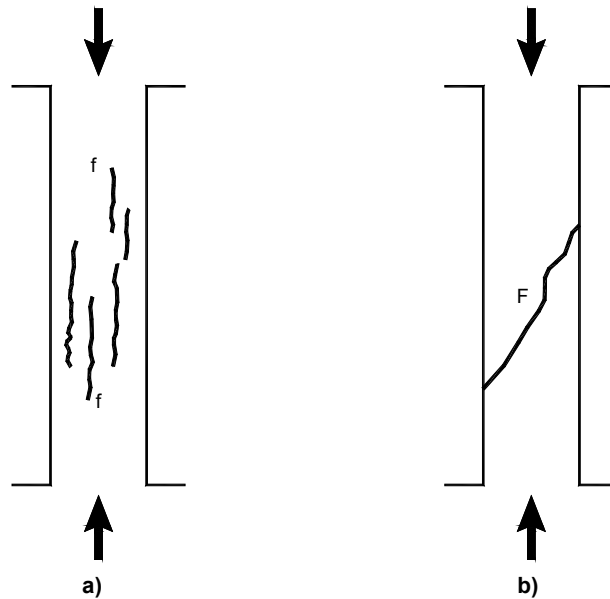


ESTRUCTURAS CONTINUAS

PORTICOS CONTINUOS



**FISURACION EN COLUMNAS POR AGOTAMIENTO
DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGON**



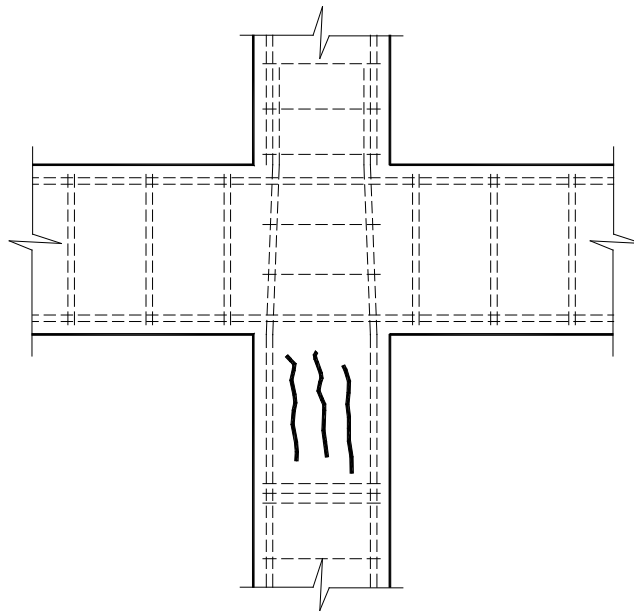
Características

- ✓ En hormigones con estado de humedad normal o alto, las fisuras de prerrotura son paralelas a la directriz de la columna (Figura a.) la fisura inclinada de la (figura b) es muy rara y solo se presenta en el caso de hormigones secos.
- ✓ Suelen presentarse varias fisuras, paralelas.
- ✓ Las fisuras f son siempre muy finas, del orden de 0.1mm como máximo. (Sólo son de mayor ancho en columnas con una cuantía de estribos extraordinariamente más alta que la habitual)
- ✓ Generalmente no están súper puestas a las armaduras
- ✓ Aparecen en fase de prerrotura de la pieza, es decir a partir del 80% al 90% de la carga de rotura de la columna.
- ✓

Causas

- ✓ Falta de resistencia del concreto para las tensiones a que está solicitado.

FISURACION VERTICAL EN CABEZA DE COLUMNA



Características

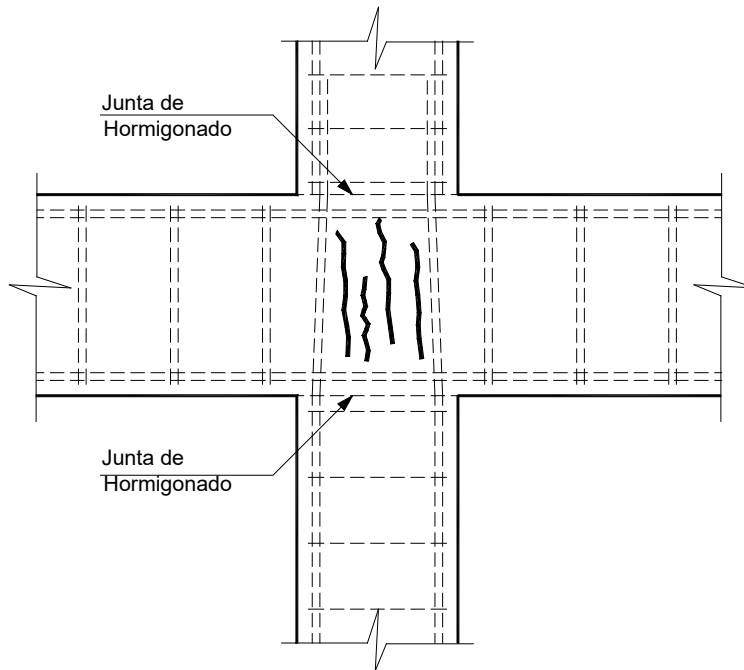
- ✓ La tipología es similar a la expuesta en el caso anterior.

Causas

Pueden ser varias:

- ✓ Ausencia de estribos en la columna, en esa zona
- ✓ Deslizamiento de los estribos, que se encuentran juntos en la zona inferior a las fisuras
- ✓ Baja el local de resistencia del concreto

FISURACION VERTICAL EN NUDO



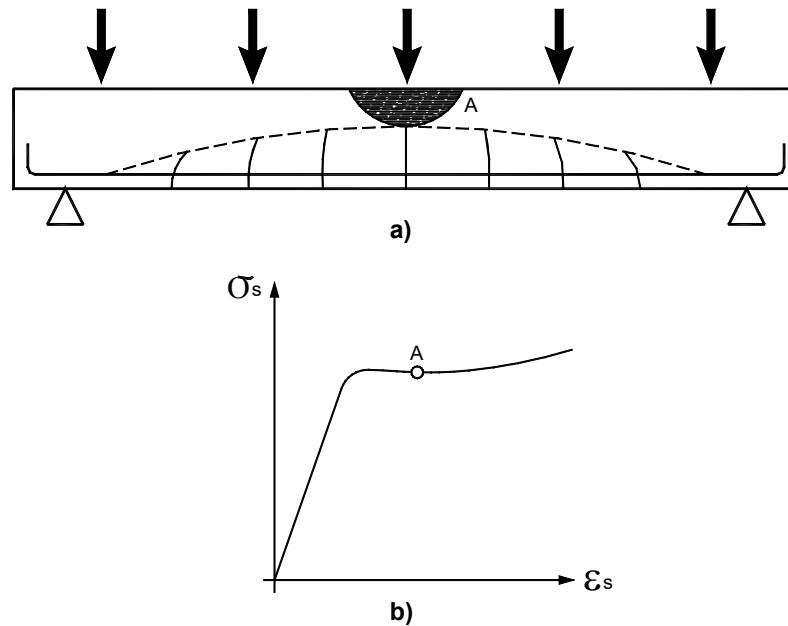
Características

- ✓ Fisuras paralelas a la directriz de la columna
- ✓ Se producen solamente en el nudo
- ✓ Suelen presentarse varias fisuras paralelas
- ✓ Son de pequeño ancho, generalmente no mayores de 0.1mm

Causas

- ✓ Se producen en estructuras en las que la resistencia especificada para el concreto de columnas es considerablemente más alta que la de vigas y forjados (como es frecuente en edificios altos). Cuando el tronco de la columna se hormigonea, erróneamente con el concreto de vigas y forjados.

FISURACION EN UNA PIEZA SOMETIDA A FLEXION CON CUANTIA ALTA PERO SIN ALCANZAR LA CRITICA



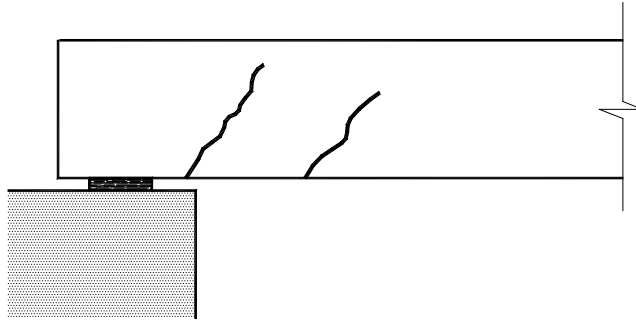
Características

- ✓ Fisuras de ancho variable y en gran número
- ✓ Las fisuras se cierran al llegar a la cabeza comprimida
- ✓ Al crecer la carga aumenta el número de fisuras hasta un momento en que ya no se producen más fisuras sino que aumenta el ancho de las existentes. (Fisuración estabilizada)
- ✓ En flexión simple y en estados avanzados de carga, (la fisuración tiene el aspecto indicado en la figura a). La Adherencia está prácticamente destruida en toda la luz y el esquema resistente es el de un arco con tirante.

Causas

- ✓ La rotura se produce visualmente en la zona comprimida A del concreto, pero realmente la causa es el agotamiento de la armadura
- ✓ Para que se produzca este tipo de rotura, la cuantía de la armadura debe superar a la cuantía mínima y el acero debe alcanzar en el agotamiento el escalón de fluencia
- ✓ La armadura ha alcanzado el escalón de fluencia.

FISURAS DE ESFUERZO CORTANTE POR TRACCION DIAGONAL



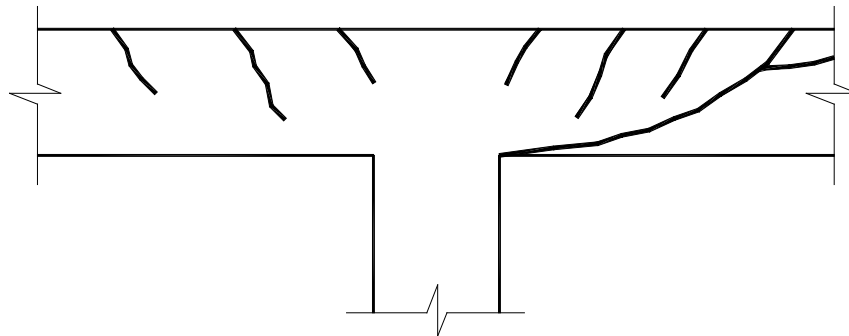
Características

- ✓ Fisuras inclinadas con ángulo de unos 45° con la directriz de la pieza, si en la zona no hay un momento flector apreciable. Si lo hay, el ángulo puede ser mayor.
- ✓ Fisura de ancho variable, mayor a nivel de la armadura de tracción.
- ✓ Generalmente la fisura, se cierra al llegar a la cabeza comprimida
- ✓ Frecuentemente se presentan varias fisuras paralelas, pero con separación apreciable.

Causas

- ✓ La causa de las fisuras indicadas es la excesiva tracción principal (diagonal) en el concreto

FISURAS DE ESFUERZO CORTANTE / FLEXION



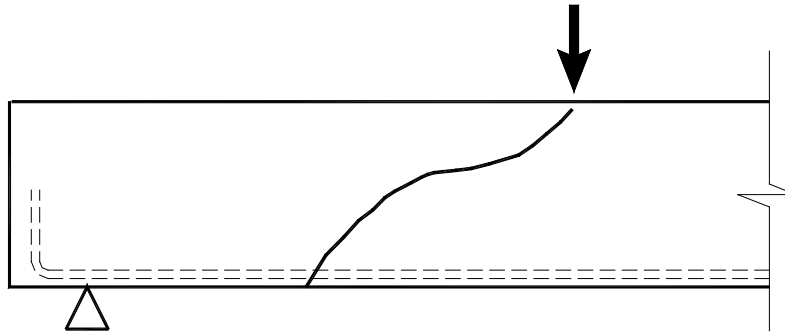
Características

- ✓ Se presenta en zonas de concreto fisurado por la acción de momentos flectores
- ✓ Fisuras mezcladas de flexión y corte
- ✓ Fisuras de ancho variable, mayor a nivel de la armadura de tracción

Causas

- ✓ La causa es una combinación de tensiones de tracción flexión y tracción.

FISURACION POR ESFUERZO CORTANTE EN CASO DE CARGAS CONCENTRADAS



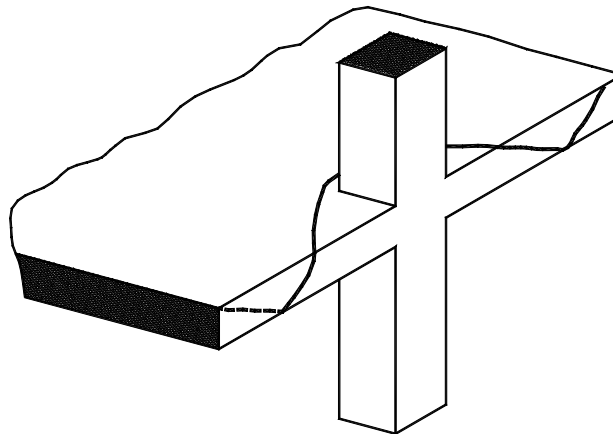
Características

- ✓ Fisura que arranca a 45° con la directriz a nivel de la armadura de tracción y luego se curva dirigiéndose hacia la carga concentrada.
- ✓ Ancho máximo variable a nivel de la armadura de tracción, que se va reduciendo hasta anularse al llegar a la cabeza comprimida

Causas

- ✓ La causa es la excesiva tracción diagonal mezclada con el efecto local de la transmisión de la carga.

FISURACIÓN POR TORSIÓN EN EL NERVIO DE BORDE DE LOSA MACIZA SIN VIGAS



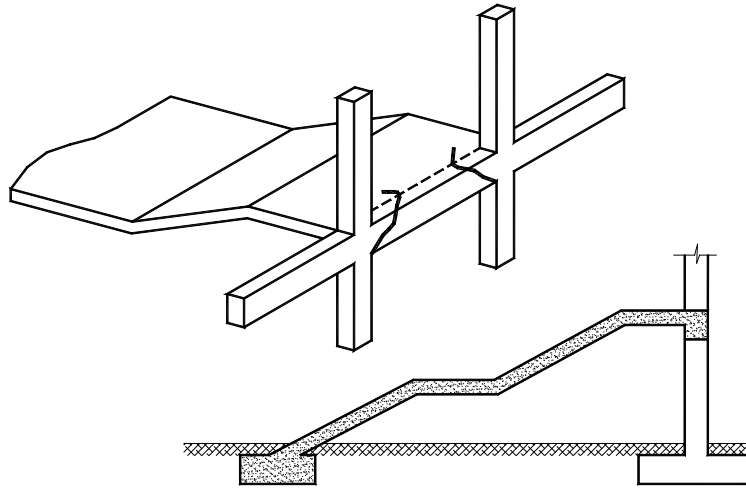
Características

- ✓ Fisuras de tipo helicoidal
- ✓ Puede haber varias fisuras del mismo tipo
- ✓ Ancho de fisura muy pequeña ($< 0.1\text{mm}$)

Causas

- ✓ Error de dimensionamiento en sección del nervio de borde
- ✓ Disposición inadecuada de armaduras
- ✓ Mas raramente, escasa resistencia del concreto

FISURACION POR TORSION EN VIGAS DE BORDE DE ESCALERA



Características

- ✓ Fisuras de tipo helicoidal
- ✓ Puede haber varias fisuras del mismo tipo
- ✓ Ancho de fisuras muy pequeño ($<0.1\text{mm}$)

Causas

- ✓ En caso de escaleras o losas de gran luz, las recomendaciones generales de empotramiento de losas en vigas de borde pueden no ser suficientes y un cálculo a torsión está en esos casos indicado

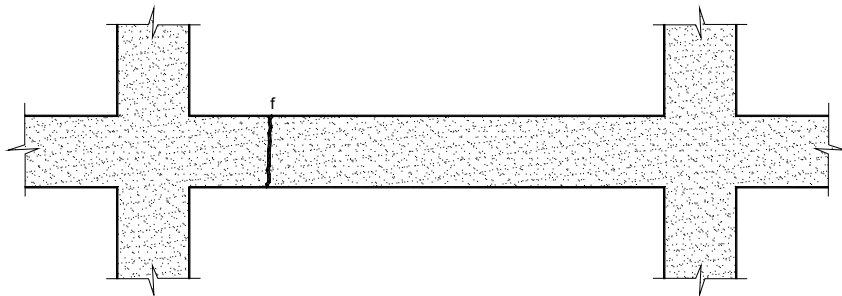
A.1.3.4. Deformaciones bajo carga sísmica

Las acciones sísmicas, objeto de esta guía, son impredecibles. Las fuerzas sísmicas de diseño se establecen con algoritmos estadísticos, pero los procedimientos de diseño incluyen el trabajo de las estructuras en el intervalo inelástico de sus materiales, lo que significa que se disipará energía con deformación y, por ende, con daños. De la localización adecuada de los puntos de fluencia plástica en la estructura depende su desempeño durante y después de un sismo. Es por lo tanto, importante, no solamente saber identificar los daños causados por fuerzas sísmicas de los producidos por otras causas, sino también clasificar el daño en términos de su naturaleza y su severidad. A continuación se ilustran los daños que las fuerza sísmicas pueden ocasionar en sistemas de pórticos y de muros; para cada caso se presentan criterios de clasificación de la severidad del daño.

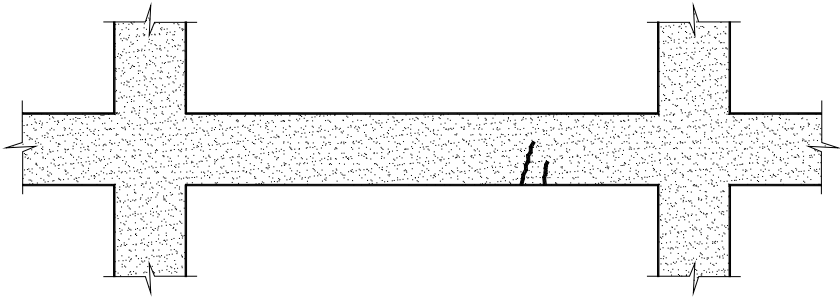
A.1.3.4.1. Pórticos

A continuación se describen los daños más comunes en elementos estructurales de pórticos.

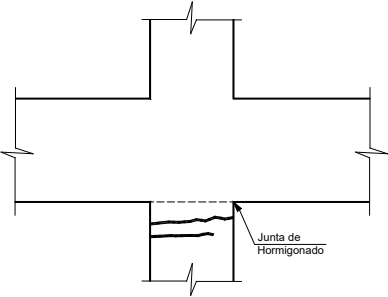
VIGAS DAÑOS POR FLEXIÓN

DAÑO	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO
<u>Ninguno / Muy leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Ninguna fisura o fisuras de menos de 0.2 mm de anchura, casi imperceptible Fisura vertical seccionando generalmente la sección completa Posición próxima al nudo <p><u>Apariencia típica:</u></p> 
<u>Leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm. Fisura vertical seccionando la sección completa <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm. Fisura vertical seccionando la sección completa <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras hasta de 6 mm. Fisura vertical seccionando la sección completa Puede verse el refuerzo <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras mayores que 6 mm. Expulsión de material Posible pandeo de refuerzo longitudinal. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas y deterioro evidente del material alrededor de la grieta.</p>

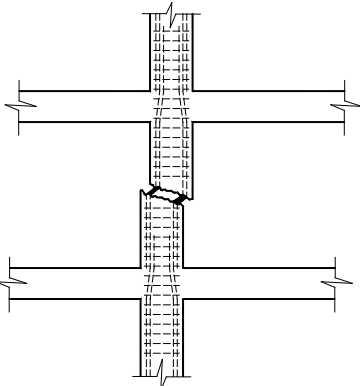
VIGAS
DAÑOS POR FLEXIÓN

DAÑO	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO
<u>Ninguno / Muy leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fisuras verticales o con inclinación leve • En cualquier lugar de la longitud, pero no cerca al nudo. • Ancho variable • Apertura máxima a nivel de la armadura de tracción <p><u>Apariencia típica:</u></p> 
<u>Leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm. <p><u>Apariencia típica:</u> Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm. <p><u>Apariencia típica:</u> Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras hasta de 6 mm. <p><u>Apariencia típica:</u> Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras mayores que 6 mm. • Expulsión de material • Posible pandeo de refuerzo longitudinal. <p><u>Apariencia típica:</u> Similar a la anterior pero con fisuras más anchas y deterioro evidente del material alrededor de la grieta.</p>

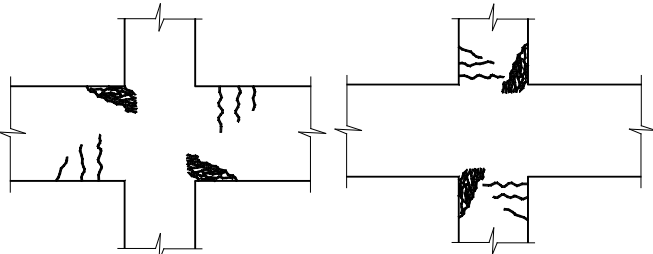
COLUMNAS
DEFECTOS LOCALES O FALTA DE REFUERZO TRANSVERSAL

DAÑO	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO
<u>Ninguno / Muy leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras horizontales cercanas al nudo. No necesariamente alrededor de toda la sección.. <p><u>Apariencia típica:</u></p> 
<u>Leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras hasta de 6 mm. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras mayores que 6 mm. Expulsión de material Posible pandeo de refuerzo longitudinal. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Fisuras más anchas, deterioro del concreto y posible apertura o rotura de ganchos de estribos..</p>

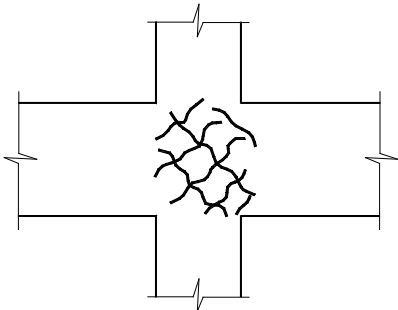
COLUMNAS

DAÑO	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO
<u>Ninguno / Muy leve</u>	<u>Criterios:</u> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras imperceptibles.
<u>Leve</u>	<u>Criterios:</u> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm. <u>Apariencia típica:</u> Similar a la de daño fuerte, pero sin exposición de refuerzo..
<u>Moderado</u>	<u>Criterios:</u> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm. <u>Apariencia típica:</u> Similar a la de daño fuerte, pero sin exposición de refuerzo..
<u>Fuerte</u>	<u>Criterios:</u> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras hasta de 6 mm. <u>Apariencia típica:</u> 
<u>Severo</u>	<u>Criterios:</u> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras mayores que 6 mm. Expulsión de material Posible pandeo de refuerzo longitudinal. <u>Apariencia típica:</u> Fisuras más anchas, deterioro del concreto y posible apertura o rotura de ganchos de estribos..

VIGAS Y COLUMNAS
DAÑOS CERCA DE LOS NUDOS

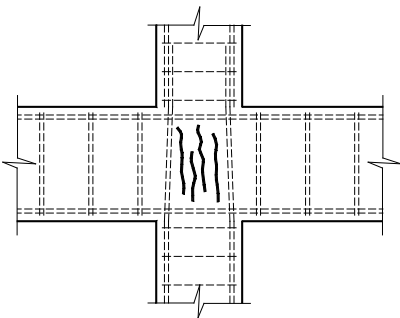
DAÑO	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO
<u>Ninguno / Muy leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Ninguna o fisuras imperceptibles. Fisuras de flexión paralelas, en caras opuestas del nudo Fisuración fina o deslaminación del concreto en caras opuestas del nudo. <p><u>Apariencia típica:</u></p> 
<u>Leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras hasta de 6 mm. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras mayores que 6 mm. Expulsión de material Posible pandeo de refuerzo longitudinal. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Fisuras más anchas, deterioro del concreto y posible apertura o rotura de ganchos de estribos..</p>

NUDOS
DAÑOS POR CORTANTE DEBIDO A FALTA DE REFUERZO TRANSVERSAL

DAÑO	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO
<u>Ninguno / Muy leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Ninguna o fisuras imperceptibles. Fisuras de ancho variable, en ambas direcciones de las diagonales del nudo. <p><u>Apariencia típica:</u></p> 
<u>Leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras hasta de 6 mm. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fisuras con anchuras mayores que 6 mm. Expulsión de material <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Fisuras más anchas, deterioro del concreto.</p>

NUDOS

FALTA DE REFUERZO TRANSVERSAL O BAJA RESISTENCIA DEL CONCRETO

DAÑO	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO
<u>Ninguno / Muy leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ninguna o fisuras imperceptibles. • Una o varias paralelas • Dirección paralela a la eje de la columna. <p><u>Apariencia típica:</u></p> 
<u>Leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras hasta de 6 mm. <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Similar a la anterior pero con fisuras más anchas.</p>
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras mayores que 6 mm. • Expulsión de material <p><u>Apariencia típica:</u></p> <p>Fisuras más anchas, deterioro del concreto.</p>

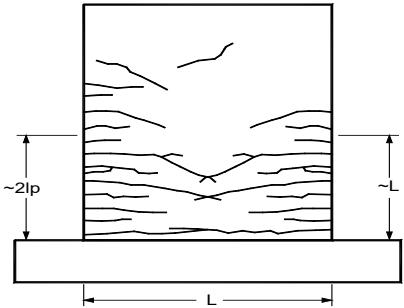
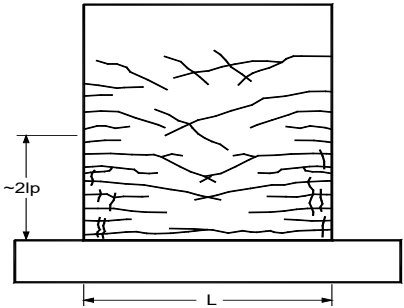
A.1.3.4.2. Muros

1AC

MURO DE CONCRETO REFORZADO

MURO AISLADO O PILA FUERTE

COMPORTAMIENTO DE FLEXION DUCTIL

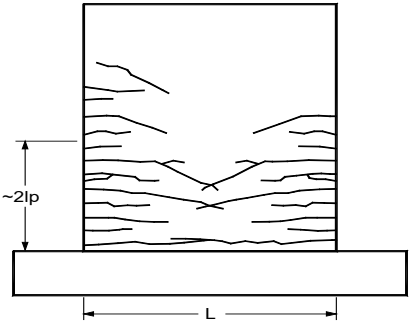
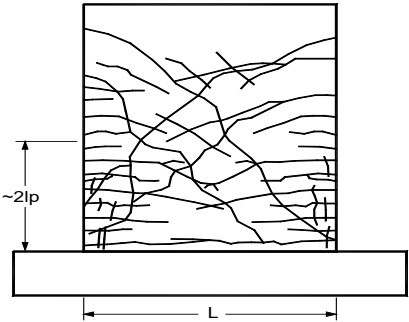
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Ninguna fisura >4mm y * Ninguna fisura de corte >3mm * Sin descascaramiento ni fisuras verticales <p><u>Apariencia Tipica:</u></p>  <p>Nota: lp es la longitud de la rótula plástica, aproximadamente igual a $\frac{L}{2}$</p>
<u>Leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras <6mm, y * Fisuras de corte <3mm, y * No hay descascaramiento ni fisuras verticales, y * No hay pandeo de refuerzo ni refuerzo fracturado, y * No hay desplazamiento residual significativo <p><u>Apariencia Tipica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Similar al anterior pero con fisuras mas anchas
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Descascaramiento o fisuras verticales, aparecen en los extremos de la base del muro, en el recubrimiento del concreto, y * No hay refuerzo pandeado ni fracturado, y * No hay desplazamiento residual significativo <p><u>Apariencia Tipica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras <6mm  <p>Nota: lp es la longitud de la rótula plástica, aproximadamente igual a $\frac{L}{2}$</p>
<u>Fuerte</u>	<u>No se usa</u>
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Refuerzo fracturado <p><u>Indicaciones Tipicas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisura de flexión ancha concentrada en una sola grieta * Grandes desplazamientos residuales

1BC

MURO DE CONCRETO REFORZADO

MURO AISLADO O PILA FUERTE

COMPORTAMIENTO DE FLEXION CON TRACCION DIAGONAL

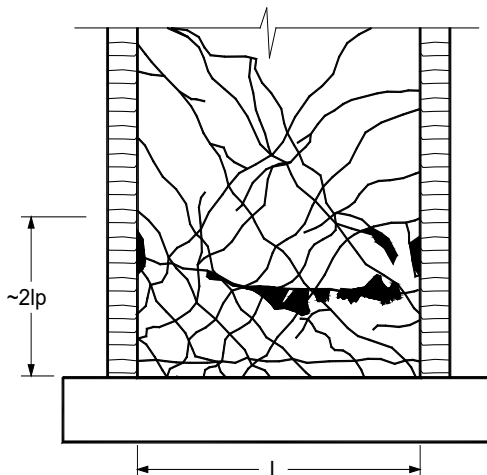
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
Ninguno/ Muy Leve	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras de corte <1.5mm, y * Fisuras de flexión <5mm, y * No hay descascaramiento ni fisuras verticales <p><u>Apariencia Típica:</u></p>  <p>Nota: lp es la longitud de la rótula plástica, aproximadamente igual a $\frac{L}{2}$</p>
Moderado	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras de corte <3mm, y * Fisuras de flexión <6mm, y * Fisuras de corte >1.5mm ó descascaramiento parcial, el alma o los bordes de la base del muro * No hay refuerzo pandeado o fracturado. * No hay desplazamiento residual significativo <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Similar al caso insignificante pero con fisuras mas anchas y un poco de descascaramiento.
Fuerte	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * 3mm < Fisuras de corte <9mm <p><u>Apariencia Típica:</u></p>  <p>Nota: lp es la longitud de la rótula plástica, aproximadamente igual a $\frac{L}{2}$</p>
Severo	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Refuerzo fracturado <p><u>Indicaciones Típicas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras de corte anchas, concentrados en una sola grieta

1CC

MURO DE CONCRETO REFORZADO

MURO AISLADO O PILA FUERTE

COMPORTAMIENTO DE FLEXION CON APLASTAMIENTO DEL ALMA

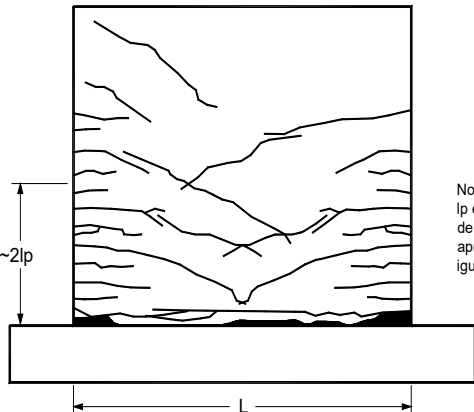
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	* Similar al caso anterior
<u>Leve</u>	Criterios: <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras de corte <3mm, y * Fisuras de flexión <6mm, y * Descascaramiento parcial en bordes ó fisuras de corte >1.5mm * No hay refuerzo pandeado ni fracturado * No hay desplazamiento residual significativo
<u>Fuerte</u>	Criterios: <ul style="list-style-type: none"> * Descascaramiento significativo, y * No hay refuerzo fracturado <div data-bbox="540 1058 1024 1530">  </div> <p>Nota: l_p es la longitud de la rótula plástica, aproximadamente igual a $\frac{L}{2}$</p>
<u>Severo</u>	Criterios: <ul style="list-style-type: none"> * Gran descascaramiento y vacíos en el alma * Desplazamiento residual significativo

1CD

MURO DE CONCRETO REFORZADO

MURO AISLADO O PILA FUERTE

COMPORTAMIENTO DE FLEXION CON APLASTAMIENTO DEL ALMA

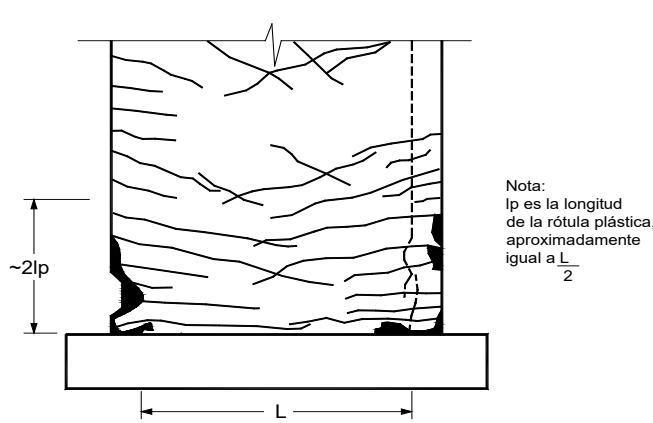
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	* Similar al 1AC
<u>Leve</u>	* Similar al 1AC
<u>Moderado</u>	* No se usa
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u> * Desarrollo de una importante grieta horizontal a lo largo de todo el muro, con alguna degradación del concreto en la grieta, que indica que ha ocurrido un deslizamiento. Es posible que haya también deslizamiento lateral.</p> <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <p>* Fisuras <9mm</p>  <p>Nota: lp es la longitud de la rótula plástica, aproximadamente igual a $\frac{L}{2}$</p>
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u> * Significante movimiento lateral, fuera del plano de la superficie de deslizamiento.</p>

1EC

MURO DE CONCRETO REFORZADO

MURO AISLADO O PILA FUERTE

COMPORTAMIENTO DE FLEXION CON COMPRESION DE BORDE

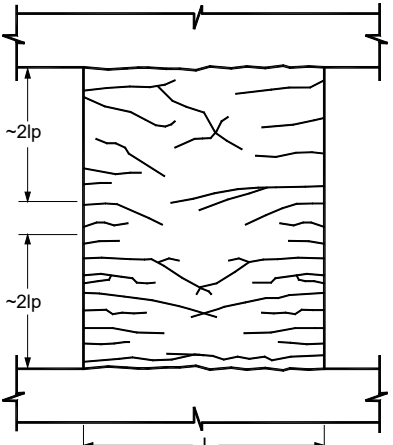
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	* Similar al 1AC
<u>Leve</u>	* Similar al 1AC
<u>Moderado</u>	* Similar al 1AC
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Descascaramiento o fisuras verticales en bordes de zona plástica * Refuerzo vertical de borde se pandea, o se daña severamente el concreto en el borde pero no solo el recubrimiento. <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras <9mm  <p>Nota: lp es la longitud de la rótula plástica, aproximadamente igual a $\frac{L}{2}$</p>
<u>Severo</u>	* Similar al 1AC

2AC

MURO DE CONCRETO REFORZADO

MURO AISLADO O PILA DEBIL

COMPORTAMIENTO DE FLEXION DUCTIL

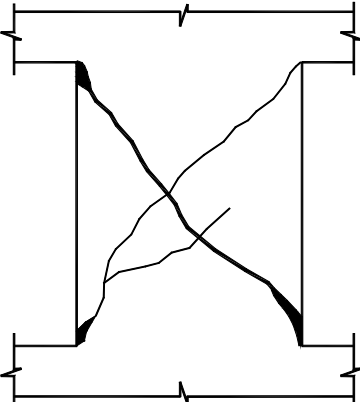
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	* Similar al 1AC
<u>Leve</u>	* Similar al 1AC
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Descascaramiento o fisuras verticales ocurren en los bordes de la zona plástica sólo en el recubrimiento. * No hay refuerzo pandeado o fracturado * No hay desplazamiento residual significativo <p><u>Apariencia Tipica:</u></p> <p>* Fisuras <6mm</p>  <p>Nota: lp es la longitud de la rótula plástica, aproximadamente igual a $\frac{L}{2}$</p>
<u>Fuerte</u>	* No se usa
<u>Severo</u>	* Similar al 1AC

2BC

MURO DE CONCRETO REFORZADO

MURO AISLADO O PILA DÉBIL

COMPORTAMIENTO DE INCIPIENTE TRACCIÓN DIAGONAL

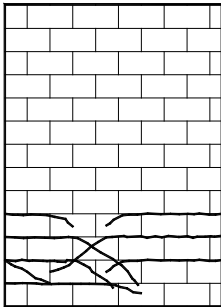
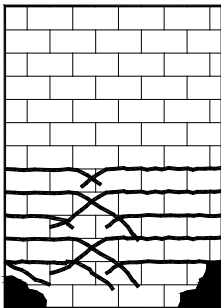
DAÑO	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO
Ninguno/ Muy Leve	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * No hay fisuras de corte, y * Fisuras de flexión <3mm <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Similar a 2AC pero sin fisuras de corte
Leve	<ul style="list-style-type: none"> * No se usa
Moderado	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras <3mm * No hay fisuras verticales ni descascaramiento <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Similar al anterior pero con fisuras pequeñas de corte
Fuerte	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * 3mm < fisuras de corte <9mm. Las fisuras se concentran en una o varias grietas <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
Severo	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Refuerzo fracturado * Fisuras anchas de corte usualmente concentradas en una sola grieta

1AM

MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA

MURO AISLADO O PILA FUERTE

COMPORTAMIENTO DE FLEXION DUCTIL

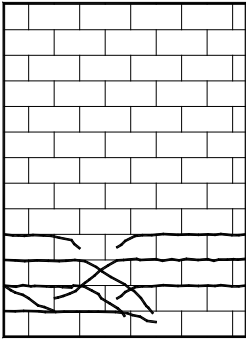
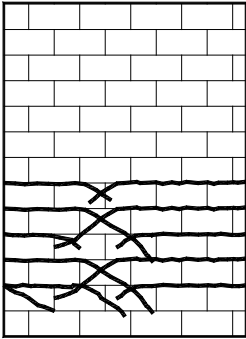
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
Ninguno/ Muy Leve	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras de corte <1.5mm * No hay descascaramiento significativo <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
Leve	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras de corte <3mm * No hay descascaramiento significativo, ni fisuras verticales <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Similar al anterior, pero con más fisuración y con mayor anchura de fisura
Moderado	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras de corte <3mm * Descascaramiento moderado de caras de unidades ó fisuras de verticales en los bordes * No hay refuerzo pandeado ni fracturado * No hay desplazamiento residual significativo <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Similar a Leve pero con más fisuras y mayor anchura de fisuras
Severo	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Refuerzo fracturado <p><u>Indicaciones Típicas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras anchas de flexión (>3mm) * Grandes desplazamientos residuales * Aplastamiento o descascaramiento generalizado * Refuerzo visiblemente pandeado o fracturado 

1BM

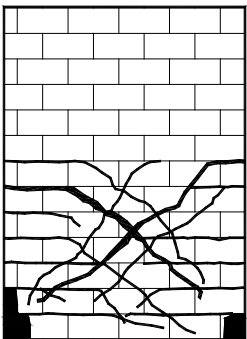
MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA

MURO AISLADO O PILA FUERTE

COMPORTAMIENTO DE FLEXION CON CORTE

DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras <1.5mm, y * No hay descascaramiento significativo <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
<u>Leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras <3mm, y * No hay descascaramiento significativo, ni fisuras verticales <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Similar al anterior, pero con más y mayores fisuras
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras <5mm * Descascaramiento moderado de caras de unidades de mampostería o fisuras moderadas verticales en bordes * No hay refuerzo pandeado ni fracturado * No hay desplazamiento residual significativo <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 

1BM

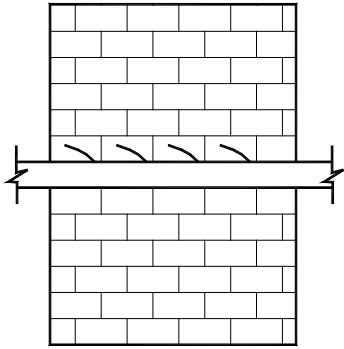
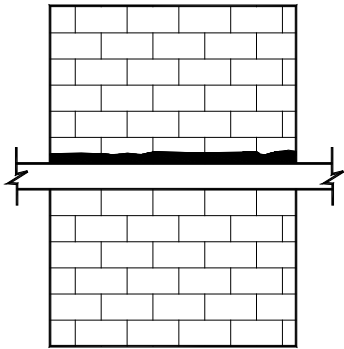
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
Severo	<p><u>Criterios:</u> * Refuerzo fracturado</p> <p><u>Indicaciones Típicas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras anchas de flexión (>6mm), usualmente concentradas en una grieta * Fisuras diagonales anchas, usualmente concentradas en una grieta * Aplastamiento o descascaramiento en bordes, con una anchura mayor a unidad y media. * Deslaminación de caras de unidades * Refuerzo visiblemente pandeado o fracturado <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 

1CM

MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA

MURO AISLADO O PILA FUERTE

COMPORTAMIENTO DE FLEXION CON DESLIZAMIENTO POR CORTE

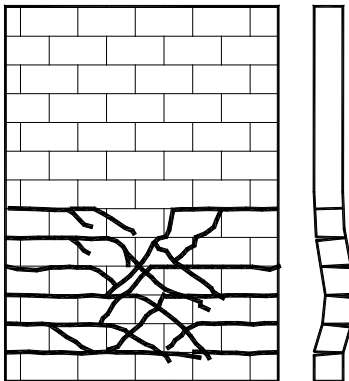
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	* Similar a 1AM
<u>Leve</u>	<p><u>Apariencia Típica:</u></p> <p>* Similar a 1AM, 1BM, y:</p> 
<u>Moderado</u>	<p><u>Apariencia Típica:</u></p> <p>* Similar a Leve, pero con mayor fisuración y movimiento</p>
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Deslizamiento permanente * Descascaramiento y aplastamiento en la base <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <p>* Similar a 1AM, 1BM, y:</p> 

1DM

MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA

MURO AISLADO O PILA FUERTE

COMPORTAMIENTO DE FLEXION CON INESTABILIDAD FUERA DE SU PLANO

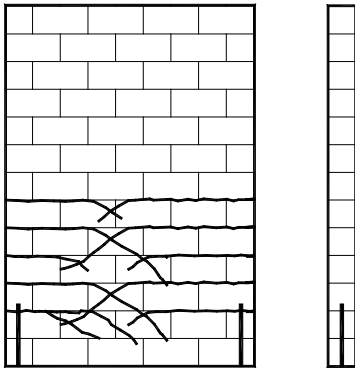
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	* Similar a 1AM
<u>Leve</u>	* Similar a 1AM
<u>Moderado</u>	* Similar a 1AM
<u>Fuerte</u>	<p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Extremo de compresión o todo el muro se pandea * Refuerzo fracturado * Fisuración ancha de flexión * Unidades desplazadas lateralmente * Aplastamiento o descascaramiento localizado

1EM

MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA

MURO AISLADO O PILA FUERTE

COMPORTAMIENTO DE FLEXION CON DESLIZAMIENTO DE TRASLAPOS

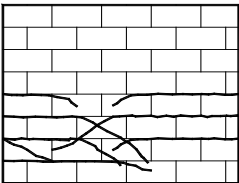
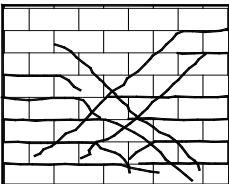
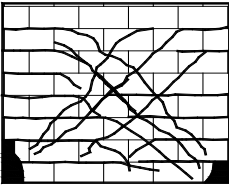
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	* Similar a 1AM ó 1BM
<u>Leve</u>	* Similar a 1AM ó 1BM
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u> * Fisuras verticales en el borde y en la base</p> <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Se parten las caras de las unidades en el borde del muro * Aplastamiento y delaminación de caras de unidades <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Ancha fisuración de flexión o unidades aplastadas en base del muro * Mortero pulverizado en la base - evidencia de balanceo

2AM

MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA

MURO AISLADO O PILA DEBIL

COMPORTAMIENTO DE FLEXION Y CORTE

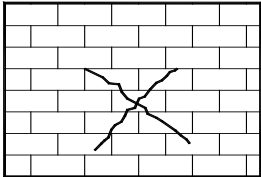
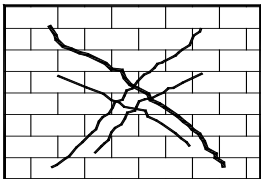
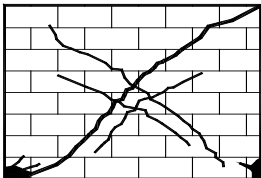
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
Ninguno/ Muy Leve	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras <1.5mm * No hay descascaramiento significativo <p><u>Apariencia Tipica:</u></p> 
Leve	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras <3mm * No hay descascaramiento significativo, ni fisuras verticales <p><u>Apariencia Tipica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Similar al anterior, pero con finas y mayores fisuras
Moderado	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras <5mm * Descascaramiento moderado de caras de unidades ó fisuras verticales en los bordes * No hay refuerzo pandeado o fracturado * No hay desplazamiento residual significativo <p><u>Apariencia Tipica:</u></p> 
Severo	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Refuerzo fracturado <p><u>Indicaciones Tipicas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras de flexión (>6mm); concentradas en una sola grieta * Fisuras anchas diagonales, concentradas en una o dos grietas * Aplastamiento o descascaramiento generalizado en bordes; delaminación visible de caras de unidades <p><u>Apariencia Tipica:</u></p> 

2BM

MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA

MURO AISLADO O PILA DEBIL

COMPORTAMIENTO DE CORTE INCIPIENTE

DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * No hay fisuras diagonales * Fisuras de flexión <1.5mm * No hay descascaramiento significativo <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * No hay daño visible
<u>Leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras <1.5mm * No hay descascaramiento ni fisuras verticales significativas <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Similar al anterior pero con pequeñas fisuras diagonales 
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Fisuras <1.5mm * No hay descascaramiento ni fisuras verticales en bordes <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Varias fisuras diagonales con una grieta predominante 
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Una grieta dominante, quizá >9mm <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Refuerzo fracturado <p><u>Indicaciones Típicas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Anchas fisuras diagonales, concentradas en una o dos grietas * Aplastamiento o descascaramiento en el centro ó en los bordes del muro

ANEXO 2. CATÁLOGO DE PATOLOGÍAS EN MUROS NO ESTRUCTURALES DE MAMPOSTERÍA

A.2.1. Introducción

En el anexo anterior se describieron muchas de las patologías estructurales más comunes, incluyendo las manifestaciones en muros de concreto y en muros de mampostería reforzada. Sin embargo, una importante proporción de la construcción en el país se lleva a cabo con mampostería no estructural, es decir, con mampostería sin refuerzo, ya sea para muros de cerramiento o en edificaciones construidas con anterioridad a la vigencia de la normativa sísmo resistente nacional, tanto el CCCSR-84 como la NSR-98.

En las próximas páginas se presentan las manifestaciones patológicas más importantes en muros construidos con mampostería no reforzada no confinada, incluyendo los muros de este tipo que tanto se utilizan en el país para rellenar vanos en pórticos resistentes a momentos, clasificados en las NSR-98 como muros diafragma.

Es necesario recalcar la naturaleza de este manual, en el sentido que los criterios que aquí se exponen corresponden a la evaluación de estructuras afectadas por sismos, independientemente del cumplimiento de normas en su construcción. Por lo tanto, no debe tomarse la inclusión de mampostería no reforzada en este catálogo de patologías con su utilización en sistemas estructurales nuevos, cuya aplicación está expresamente restringida por las normas vigentes colombianas en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, o como elementos no estructurales carentes del correspondiente análisis y diseño.

A.2.2. MANIFESTACIONES PATOLÓGICAS EN MUROS NO ESTRUCTURALES

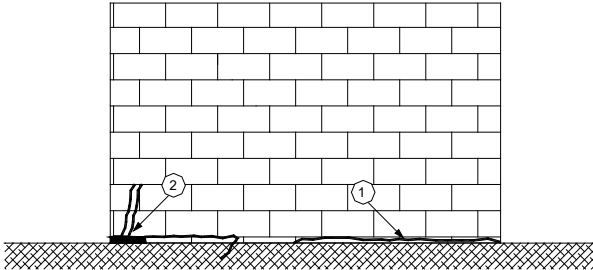
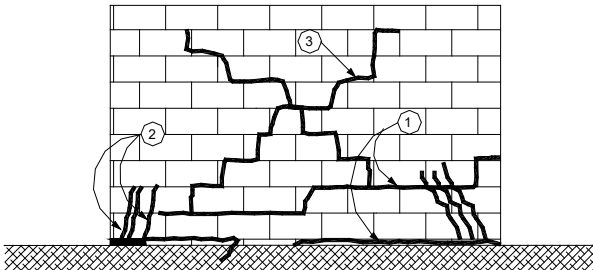
1A-MNR

MURO DE MAMPOSTERIA NO REFORZADA

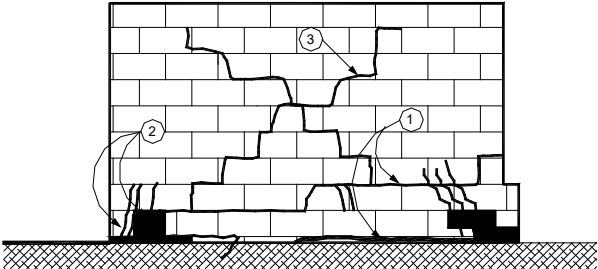
MURO SOLIDO (MACIZO)

FISURACION POR FLEXION / APLASTAMIENTO DE BORDE/

DESPLAZAMIENTO DE JUNTA

DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<p>Ninguno/ Muy Leve</p>	<p><u>Criterios:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Fisuras horizontales muy delgadas en borde a tracción 2) Posible fisuración diagonal y descascaramiento menor en borde a compresión <p><u>Apariencia Tipica:</u></p> 
<p>Moderado</p>	<p><u>Criterios:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Fisuras horizontales, mortero descascarado en las juntas de la base del muro indicando que ha ocurrido un corrimiento en el plano de hasta aproximadamente 6mm 2) Posible fisuración diagonal y descascaramiento en el borde a compresión. Las fisuras se extienden hacia arriba varias hiladas 3) Posible fisuración diagonal en partes superiores del muro, inclusive en las unidades. <p><u>Apariencia Tipica:</u></p> 

1A-MNR

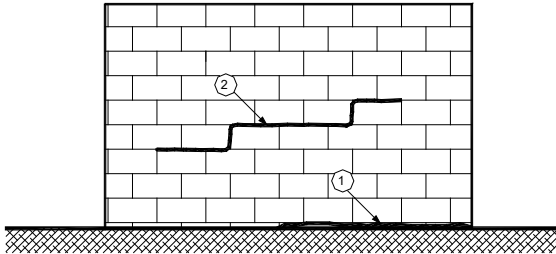
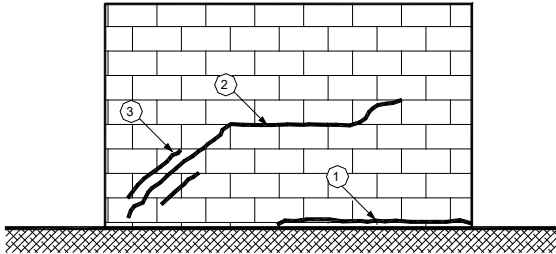
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Grietas en las juntas horizontales cerca de la base del muro, similar a moderado, pero anchura de hasta 12mm 2) Posible fisuración diagonal y descascaramiento en el borde a compresión. Las fisuras se extienden hacia arriba varias hiladas 3) Igual que moderado, pero con fisuras hasta de 12mm <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * La capacidad de carga vertical se disminuye <p><u>Indicaciones Típicas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * La fisuración en escalera es muy pronunciada. Las unidades se deslizan de su apoyo inferior * Borde inferior comienza a desintegrarse * El desplazamiento residual es tan grande, que las unidades del borde están por caerse.

1B-MNR

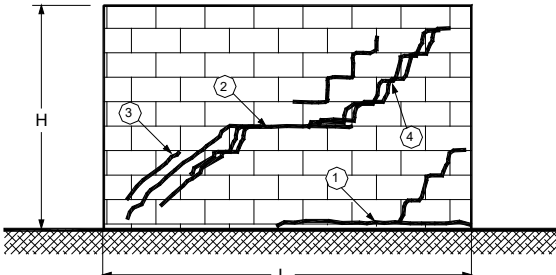
MURO DE MAMPOSTERIA NO REFORZADA

MURO SOLIDO

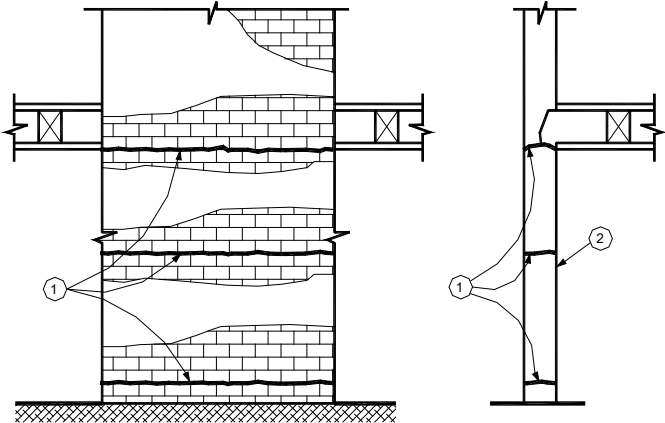
FISURACION POR FLEXION / APLASTAMIENTO DEL BORDE INFERIOR

DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Fisuras horizontales en juntas de pega en el borde inferior del muro 2) Fisuras horizontales en 1 a 3 grietas en la parte central del muro. No ha habido corrimiento a lo largo de la grieta 3) No hay fisuras en unidades <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
<u>Leve</u>	<p>* No se usa</p>
<u>Moderado</u>	<p>* No se usa</p>
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Fisuras horizontales en la junta de pega en el extremo inferior del muro 2) Fisuras horizontales en 1 a 3 grietas en la parte central del muro. Con un posible corrimiento a lo largo de la grieta 3) Fisuración diagonal en el borde inferior del muro, posiblemente a través de las unidades, con algo de descascaramiento <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 

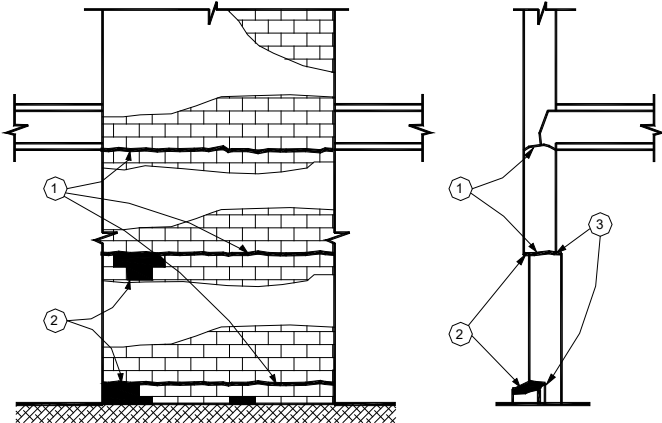
1B-MNR

DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
Severo	<p><u>Criterios:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Fisuras horizontales en junta de pega en el borde inferior del muro 2) Fisuras horizontales en parte central del muro, con corrimiento a lo largo de la grieta 3) Fisuración diagonal en el borde inferior del muro, posiblemente a través de las unidades, con algo de descascaramiento 4) Grandes fisuras en parte superior, diagonales para muros con $L/H > 1.5$, verticales para dimensiones menores <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 

1C-MNR **MURO DE MAMPOSTERIA NO REFORZADA**
MURO SOLIDO
COMPORTAMIENTO POR FLEXION FUERA DEL PLANO

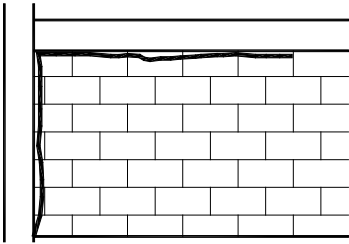
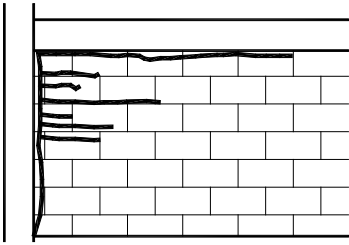
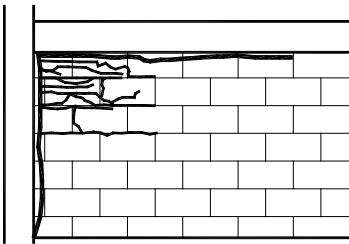
DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
Ninguno/ Muy Leve	<p><u>Criterios:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Fisuras horizontales a nivel superior, inferior, y en el medio de cada nivel del muro entre pisos 2) No hay corrimiento fuera del plano ó descascaramiento del mortero de pega a lo largo de las fisuras <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
Leve	* No se usa
Moderado	<p><u>Criterios:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Fisuras a nivel superior e inferior (techo y piso) de cada nivel, y en la mitad de la altura puede haber descascaramiento de la junta de pega y posiblemente: 2) Corrimiento fuera del plano de hasta 3mm <p><u>Apariencia Típica:</u></p> <p>* Similar a insignificante</p>

1C-MNR

DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Fisuras a nivel superior e inferior (techo y piso) de cada nivel, y en la mitad de la altura puede haber descascamiento de la junta de pega 2) Descascamiento y redondeo de bordes de unidades a lo largo de plano de fisuras 3) Corrimiento fuera del plano a lo largo de las fisuras de hasta 12mm <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
<u>Severo</u>	<p><u>Criterios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Capacidad de carga disminuida <p><u>Indicaciones Típicas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> * Corrimiento significativo fuera del plano o en el plano en los extremos superior e inferior * Significante aplastamiento y descascamiento de unidades en las grietas

1MD

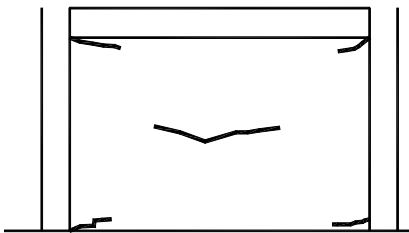
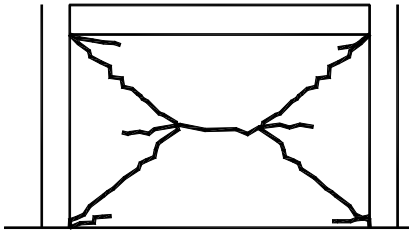
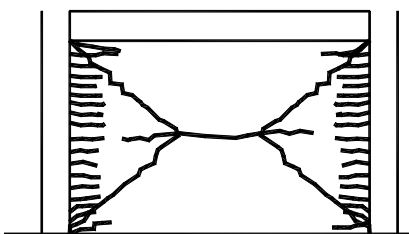
MURO DIAFRAGMA (RELLENO DE PORTICOS)
COMPORTAMIENTO DE APLASTAMIENTO DE ESQUINAS

DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	<p><u>Criterios:</u> * Separación del mortero alrededor del perímetro del muro de relleno. Algún aplastamiento del mortero cerca a las esquinas</p> <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u> * Aplastamiento del mortero, fisuración de unidades, incluyendo movimiento lateral de las caras de las unidades.</p> <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u> * Pérdida de unidades de esquina por descascaramiento completo de caras de unidades. Fisuración diagonal en escalera y/o deslizamiento de juntas</p> <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 

2MD

MURO DIAFRAGMA (RELLENO DE PORTICOS)

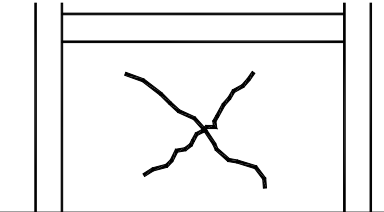
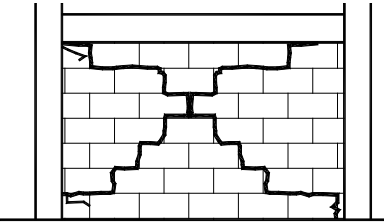
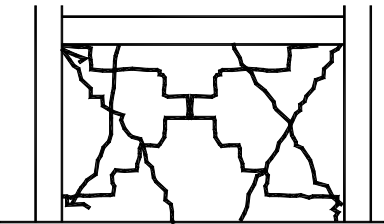
DESLIZAMIENTO DE JUNTAS

DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<p>Ninguno/ Muy Leve</p>	<p><u>Criterios:</u> * Aplastamiento del mortero alrededor del perímetro del pórtico, cerca de las esquinas</p> <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
<p>Moderado</p>	<p><u>Criterios:</u> * Aplastamiento del mortero y fisuración de unidades en zonas más amplias, adyacentes a las vigas y columnas</p> <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
<p>Fuerte</p>	<p><u>Criterios:</u> * Significante aplastamiento del mortero y de unidades que se extiende alrededor de casi todo el perímetro del pórtico, con mayor importancia a lo largo de la altura de las columnas</p> <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 

3MD

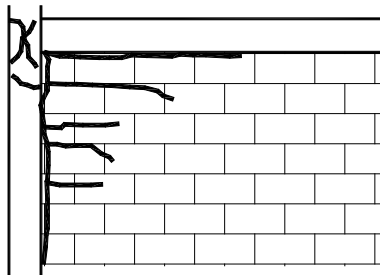
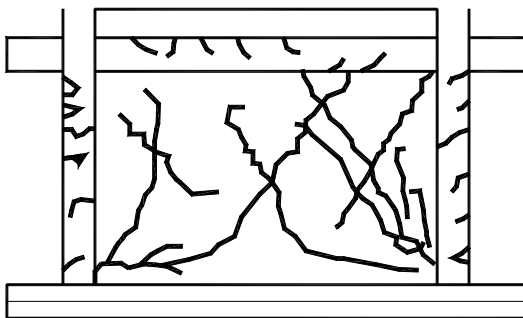
MURO DIAFRAGMA (RELLENO DE PORTICOS)

TRACCION DIAGONAL

DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	<p><u>Criterios:</u> * Fisuración en las diagonales de la mampostería, especialmente asociada con rotura de la adherencia entre mortero y unidades. Fisuración concentrada en el centro del muro</p> <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u> * Fisuración en escalera a todo lo largo de las diagonales. Puede observarse algún aplastamiento del mortero. Las fisuras no se abren por el confinamiento que ejerce el pórtico</p> <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u> * Las fisuras se anchan hasta unos 3mm, asociadas más que todo con aplastamiento en las esquinas. Es evidente mucha pérdida de mortero generalmente aparece más de una fisura. Porciones enteras de muro pueden correrse lateralmente</p> <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 

4MD

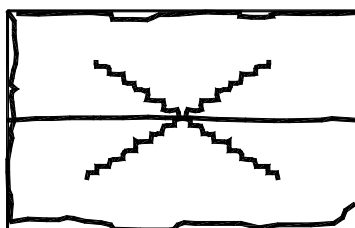
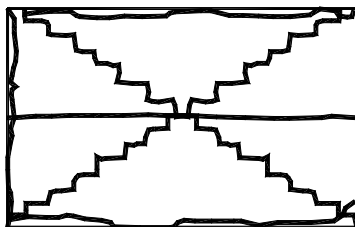
MURO DIAFRAGMA (RELLENO DE PORTICOS)
APLASTAMIENTO DE ESQUINAS Y FISURACION DIAGONAL

DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
Ninguno/ Muy Leve	<p><u>Criterios:</u> * Separación del mortero a lo largo de la viga. Alguna fisuración en juntas de pega</p>
Moderado	<p><u>Criterios:</u> * Para un Pórtico dúctil con viga fuerte-columna débil, fluye primero la viga. Se rompen las unidades de las esquinas por compresión y pueden aparecer fisuras diagonales en los nudos</p> <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 
Fuerte	<p><u>Criterios:</u> * Abundante fisuración de vigas y columnas. Fisuración diagonal que atraviesa las unidades. Descascaramiento de caras de unidades en las esquinas</p> <p><u>Apariencia Típica:</u></p> 

5MD

MURO DIAFRAGMA (RELLENO DE PORTICOS)

COMPORTAMIENTO FUERA DEL PLANO

DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
<u>Ninguno/ Muy Leve</u>	<p><u>Criterios:</u> * Fisuras alrededor del perímetro y levemente en la mitad de la altura</p>
<u>Moderado</u>	<p><u>Criterios:</u> * Aplastamiento y pérdida de mortero alrededor del perímetro y en la mitad de la altura. Posibles leves fisuras diagonales en el centro del muro</p> <p><u>Apariencia Tipica:</u></p> 
<u>Fuerte</u>	<p><u>Criterios:</u> * Severa fisuración a lo largo de todo el perímetro, las diagonales y la mitad el muro unidades en las esquinas</p> <p><u>Apariencia Tipica:</u></p> 

ANEXO 3. CATÁLOGO DE PATOLOGÍAS EN OTROS MATERIALES

A.3.1. Introducción

En los anexos anterior se describieron muchas de las patologías estructurales más comunes en concreto y mampostería. Aunque estos materiales representan la inmensa mayoría de las edificaciones y estructuras construidas en Bogotá, existe una porción menor de edificaciones estructuradas con otros materiales, especialmente acero y tapia.

En las próximas páginas se presentan las manifestaciones patológicas más importantes en sistemas estructurales de tapia, adobe o bahareque y en estructuras de acero. De nuevo, es necesario recalcar la naturaleza de este manual, en el sentido que los criterios que aquí se exponen corresponden a la evaluación de estructuras afectadas por sismos, independientemente del cumplimiento de normas en su construcción. Por lo tanto, no debe confundirse la inclusión de materiales como la tapia en este catálogo de patologías con su utilización en sistemas estructurales nuevos, cuya aplicación no está validada por las normas vigentes colombianas.

A.3.2. Muros de tapia o adobe

Las viviendas de adobe y tapia pisada son en general muy antiguas y muy vulnerables frente a los sismos, no cuentan con condiciones de sismo resistencia adecuadas además del deterioro que han sufrido las propiedades mecánicas de sus materiales por los años de uso. Algunas de las características constructivas que contribuyen a su vulnerabilidad son: la ausencia de un diafragma rígido de entrepiso, conexiones deficientes entre el sistema de cubierta o entrepiso y los muros portantes, entrepisos y techos demasiado pesados, ausencia de reforzamiento en muros, mala calidad de los materiales (adicional a las deficientes propiedades mecánicas de la tierra a tracción y cortante), aberturas de puertas y ventanas demasiado grandes y mal distribuidas, cimentaciones deficientes, etc.

Los mecanismos de falla típicos en construcciones de adobe o tapia pisada son (Universidad de los Andes – Corporación Barrio La Candelaria, 2002):

- Fallas por flexión:
 - Perpendicular al plano del muro con agrietamiento horizontal en la base o a una altura intermedia y agrietamientos verticales complementarios para combinar el mecanismos de falla. Este tipo de falla es frecuente en muros largos sin restricciones transversales.
 - Perpendicular al plano del muro con agrietamiento vertical en la zona central, agrietamiento diagonal para conformar el mecanismos de fisuración en la parte superior por falta de refuerzo o confinamiento. Este tipo de falla se presenta principalmente en muros altos y cortos o muros muy largos con restricciones laterales poco espaciadas.
 - Perpendicular al plano en las esquinas no confinadas de muros sueltos o en esquina no conectadas efectivamente con los muros de restricción transversal al mismo
- Fallas por cortante en el plano del muro asociadas a altos empujes horizontales. En muchos casos los agrietamientos están asociados a la presencia de aberturas de puertas y ventanas en los muros.

- Falla generada por la caída de la cubierta hacia el interior de la vivienda, por encontrarse mal apoyada sobre los muros, mal concebida estructuralmente, por deficiencias en las conexiones o con alto grado de avance en su deterioro por ataque de insectos o cambios de humedad.
- Una combinación de dos o más mecanismos anteriores.

En las Fotografías A.3-1 se puede observar un ejemplo de daños severos en estructuras de tapia y bahareque.



Fotografías A.3-1. Daños en muros de tapia

A.3.2. Muros de bahareque

Los muros de bahareque como elementos básicos individuales en general presentan una vulnerabilidad sísmica baja. La vulnerabilidad de este tipo de edificaciones está asociada principalmente con la estructuración, es decir, con la carencia de anclajes o conexiones estructuralmente eficaces de los muros entre sí y con los demás componentes de la construcción (cimentación, entresijos y cubierta). Adicionalmente, siendo materiales naturales (guadua, tierra y madera) los constituyentes principales de la construcción en bahareque, el tiempo y la agresión ambiental, particularmente el agua, los insectos xilófagos y los hongos son factores deteriorantes que determinan en un alto grado la vulnerabilidad de este sistema frente a las acciones sísmicas

Otras características constructivas que contribuyen a la vulnerabilidad de las edificaciones en bahareque son:

- Cimentaciones deficientes que en general presentan falta de anclaje en el terreno, escasa continuidad, y uso de materiales frágiles, como la mampostería no reforzada de piedra y ladrillo;
- Problemas en cubiertas y entresijos: Utilización de vigas de guadua y/o madera, en cubierta y entresijos, que no han sido adecuadamente inmunizadas y protegidas de la humedad, por lo cual es muy frecuente su pudrición o deterioro; cubiertas demasiado pesadas, normalmente constituidas por tejas de barro, las cuales no pueden ser soportadas adecuadamente por las deficiencias en las conexiones de los elementos de soporte o por el deterioro de los mismos;
- Irregularidades: Plantas muy irregulares o alargadas e inadecuada distribución de muros, especialmente en lotes medianeros donde los muros en el sentido transversal de la vivienda son muy escasos; gran cantidad de vanos y en algunas oportunidades, de gran tamaño y mal distribuidos; discontinuidad vertical de los muros (especialmente en la fachada de segundos pisos por la conformación de balcones y voladizos);
- Combinación de materiales: como columnas de concreto, de adobe y/o de madera conectadas con deficiencia al diafragma de entresijo, cambio de los muros de fachadas o muros interiores por mampostería, con o sin refuerzo, sobrepuestos a la construcción de bahareque, sin conexión efectiva; construcción del primer piso en mampostería y el segundo en bahareque generando grandes cambios de rigidez en la estructura y deficiencias en la conexión entre los dos pisos;
- Deterioro por intemperismo o falta de mantenimiento: pérdida del recubrimiento de tierra y cagajón de los muros debido a la exposición de los muros;
- Colindancia: No todos los casos de daños en construcciones de bahareque son fallas de la propia estructura. Con frecuencia las construcciones vecinas son las causantes de los daños. Una construcción de bahareque puede resultar aplastada entre dos estructuras de mampostería;
- Escasa o nula conexión de la estructura de cubierta con los muros que la soportan.

Se puede concluir que los mecanismos de falla típicos en las construcciones de bahareque son (ver ejemplos en las Fotografías A-3.2):

- Inclinación, colapso parcial o total de muros
 - Por falla en la cimentación (Fotografía a.)
 - Por la caída de la cubierta hacia el interior de la vivienda (Fotografía b.)
 - Por impacto de los muros de mampostería (Fotografía c.)
- Fallas por flexión:
 - Perpendicular al plano del muro, en las esquinas no confinadas de muros sueltos o en esquina no conectadas efectivamente con los muros de restricción transversal al mismo (Fotografía d.)
 - Pandeo de las diagonales internas
- Fallas por cortante en el plano del muro asociadas a altos empujes horizontales

- Fisuras o pérdida del recubrimiento, especialmente en los puntos de concentración de esfuerzos, como son los vanos de las puertas y las ventanas (Fotografía e).
- Fisuras generalizadas en sentido horizontal en los muros de bahareque hueco esterillado con recubrimiento de tierra y cagajón, donde se manifiesta el cortante a lo largo de las hendiduras de las esterillas del muro (Fotografía f.).
- Desplazamiento de entrepisos (Fotografía g.)
- Aplastamiento entre dos estructuras colindantes de materiales más pesados como mampostería o concreto (Fotografía h.)
- Una combinación de dos o más mecanismos anteriores, los cuales pueden generar entre otros efectos la pérdida de conexión interna de los elementos constitutivos del bahareque.



a)



b)

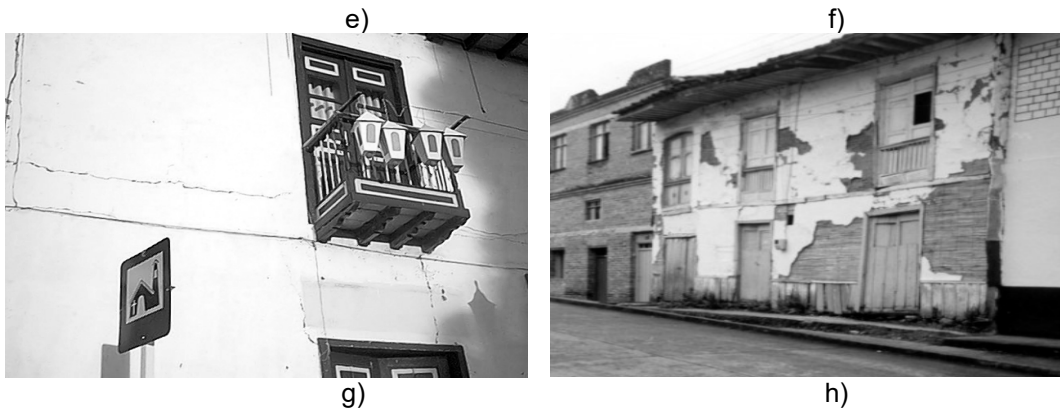


c)



d)





Fotografías A. 3-2: Tipos de falla estructuras de bahareque

A.3.3. Vigas, columnas y conexiones en estructuras de acero

La experiencia en diferentes sismos a nivel internacional muestra que la principal causa de daños y fallas en estructuras metálicas son las conexiones de los elementos estructurales, ya sean estas soldadas, remachadas o apernadas. Por lo cual es recomendable iniciar la revisión de los daños con las conexiones, tratando de detectar los sitios más vulnerables de acuerdo con la configuración y geometría de la estructura y los más accesibles para la revisión.

Las conexiones con soldadura pueden presentar diferentes tipos de fallas:

- En pórticos resistentes a momento: fractura completa de la soldadura, fractura parcial, fractura en el contacto con el patín de la columna con la soldadura y fractura en el contacto de los patines de la viga con la soldadura;
- En pórticos arriostrados: falla en la soldadura de conexión de las riostras a vigas y/o columnas.
- En pórticos en celosía: la falla más común es por pandeo en los elementos de las diagonales.

En las conexiones atornilladas, los tipos de falla más comunes son: por cortante, aplastamiento, desgarramiento o por sección insuficiente de las placas de conexión, ver Figura A.3.3.

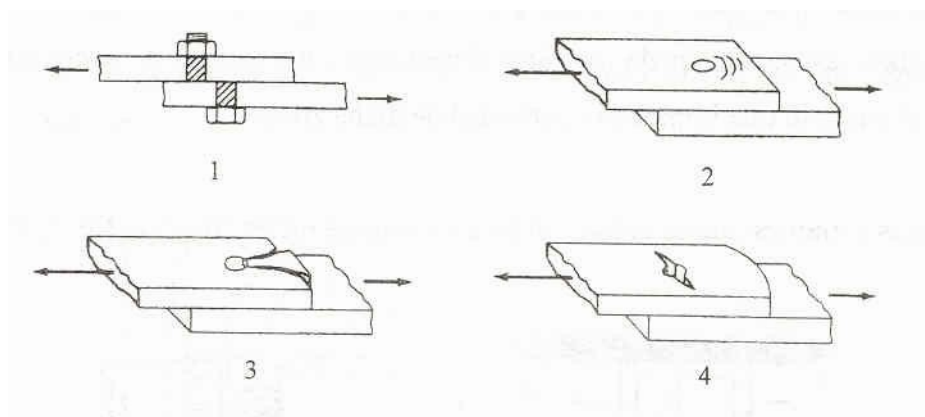


Figura A-3.3. Caracterización de los daños típicos en conexiones atornilladas

(Fuente: Salmon et al, 1996; -En: Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, 1998)

Los paneles de unión entre columnas y vigas en pórticos resistentes a momento son puntos importantes de analizar pues en este lugar se llevan a cabo un gran número de conexiones. Los daños más comunes son: 1. Fractura o pandeo de los atiesadores, 2. Fracturas en la soldadura de los atiesadores, 3. Fractura parcial en el alma de la columna, 4. Pandeo del alma y 5. Ruptura de la columna, como se describen en la Figura A.3.4. Las grietas en la soldadura de los atiesadores y cualquier daño ocurrido en éstos no será de graves consecuencias para la estructura, siempre y cuando la fractura no se extienda y penetre el material de la columna. Si la grieta penetra el panel, ésta tiende a extenderse bajo la presencia de cargas adicionales resultando la separación completa de la parte superior de la columna con la inferior. Esta falla presenta un gran riesgo para la estructura, pues la columna pierde gran parte de su capacidad de resistencia.

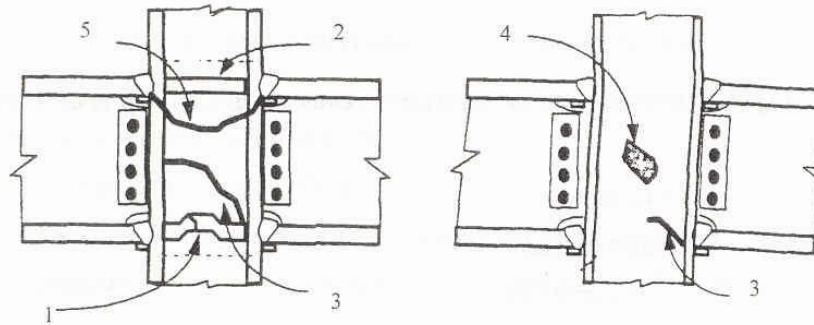


Figura A.3.4. Caracterización de los daños típicos en conexiones viga-columna

(Fuente: SAC, 1994; -En: Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, 1998)

Vigas: Los daños en vigas consisten principalmente en: fluencia, pandeo o fractura de los patines o alma en zonas cercanas a la conexión con la columna. La Figura A.3.5 ilustra los tipos de daños en estos elementos.

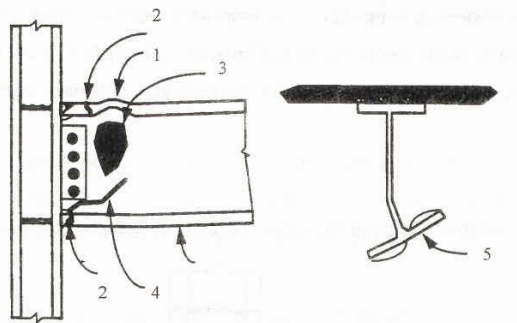


Figura A.3.5. Caracterización de los daños típicos en vigas

(Fuente: SAC, 1994; -En: Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, 1998)

Columnas: Los daños típicos en columnas se puede identificar como: fracturas en el patín, desprendimiento de una sección del patín, desgarramiento laminar del patín o pandeo del patín. Ver Figura A.3.6.

En sistemas arriostrados los puntos críticos son las conexiones de las riostras y el posible pandeo de columnas y/o riostras.

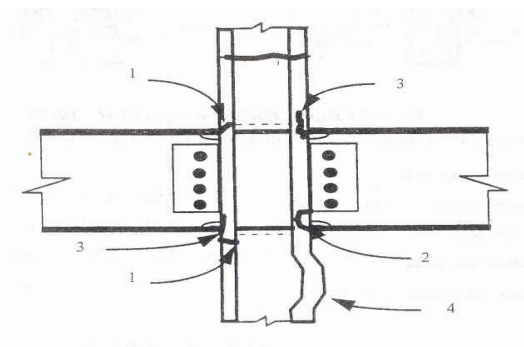


Figura A.3.6. Caracterización de los daños típicos en columnas
 (Fuente: SAC, 1994; -En: Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, 1998)

En las Fotografías A.3-3 se observan ejemplos de daños en elementos metálicos.



a) Pandeo de columna en pórticos arriostrados



b) Falla de soldadura en pórticos no arriostrados



c) Falla de celosía



d) Pandeo del patín

Fotografías A.3-3. Ejemplos de mecanismos de falla en estructuras metálicas

A.3.4. Estructuras de madera

Las construcciones de madera no son muy comunes en nuestro medio. Normalmente por su bajo peso y alta flexibilidad los daños en este tipo de edificaciones, con frecuencia no son tan peligrosos. Los daños típicos en las edificaciones modernas incluyen agrietamiento del estuco o muros prefabricados, caída de chimeneas en mampostería y volcamiento de objetos en gabinetes.

En general este tipo de edificaciones tienen un buen comportamiento sísmico, los daños estructurales ocurren en las construcciones más antiguas y las causas más comunes son:

- Resistencia inadecuada de muros en los primeros pisos: La causa principal de la insuficiencia de resistencia de estos muros son: 1) con frecuencia sólo están recubiertos en el exterior, 2) pueden tener grandes aberturas, 3) son paredes transversales cortas en una configuración en planta muy angosta y 4) no cuentan con la ayuda de resistencia de las paredes interiores. Cuantos más pisos tenga la edificación más vulnerables serán los muros del primer piso.
- Conexiones inadecuadas a las cimentaciones: soleras y entrepisos no unidos con pernos a la cimentación, en cuyo caso las fuerzas sísmicas pueden generar deslizamiento de la estructura, dejando la estructura sin soporte
- Pisos flexibles: edificaciones en lotes muy angostos, garajes o espacios muy amplios con fines comerciales o de recreación en el primer piso generando una baja cantidad de muros en el nivel inferior

Otro tipo de fallas menos comunes son: anclajes inadecuados de porches, y deterioro de la madera por termitas, humedad y otro tipo de agentes patógenos. Deterioro de la edificación por deformación permanente del suelo. En las Fotografías A.3-4 se muestran ejemplos de daños en construcciones de madera.



a) Resistencia inadecuada muros primer piso



b) Primer piso flexible



c) Falla en cimentación



d) Desplazamiento de la base

Fotografías A.3-4. Tipos de fallas estructuras de madera.