# LECCIÓN 13

# ESTRUCTURAS EN ZONAS SÍSMICAS

(Anejo 10 EHE-08 y NCSE-02)

- 1. INTRODUCCIÓN
- 2. DUCTILIDAD
- 3. CONFIGURACIÓN. MÉTODOS DE CÁLCULO
- 4. MATERIALES
- 5. DETALLES CONSTRUCTIVOS
  - 5.1 CIMENTACIONES
  - 5.2 VIGAS
  - 5.3 SOPORTES
  - 5.4 PANTALLAS
- 6. PATOLOGÍA DE DAÑOS POST-SISMO

# 1. INTRODUCCIÓN

Norma NCSE-02 obligatoria en aquellas construcciones de:

- Importancia "normal" o "especial", y
- aceleración sísmica básica  $a_b \ge 0.04 g$

Clasificación de las construcciones según su importancia:

Moderada: Aquéllas cuya destrucción tenga probabilidad despreciable de

ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario o producir

daños económicos significativos a terceros.

Normal: Aquéllas cuya destrucción **pueda** ocasionar víctimas,

interrumpir un servicio (que no sea imprescindible para la colectividad ni dé lugar a efectos catastróficos) o produzca

importantes pérdidas económicas.

Especial: Aquéllas cuya destrucción pueda interrumpir un servicio

imprescindible para la colectividad o dé lugar a efectos

catastróficos.

#### Éstas son:

- Hospitales
- Instalaciones de telecomunicaciones
- Centros de organización y coordinación para casos de desastre
- Edificios para personal y equipos de ayuda (bomberos, policía, FF.AA., parques de maquinaria y de ambulancias)
- Edificios de instalaciones básicas (depósitos agua, gas, combustible, estaciones de bombeo, redes de distribución, centrales eléctricas, CTs)
- Puentes
- Instalaciones vitales en estaciones de fc., aeropuertos y puertos
- Instalaciones industriales con sustancias peligrosas
- Grandes construcciones de ingeniería civil (centrales y presas)
- Monumentos
- Construcciones destinadas a espectáculos públicos y grandes superficies comerciales

La aplicación de NCSE-02 no es obligatoria en los casos siguientes:

- Construcciones de importancia moderada
- Resto de construcciones si  $a_b < 0.04 g$
- Construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas direcciones cuando  $a_b < 0.08 \ g$ , cumpliendo además que nº plantas  $\leq 7$  con aceleración sísmica de cálculo  $a_c < 0.08 \ g$

#### Mapa de peligrosidad sísmica:

Muestra, en función de g, la aceleración sísmica básica  $a_b$  (valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno)



#### Sismicidad histórica en la Región de Murcia:

- Falla activa de Alhama de Murcia.
- 1579 y 1674, Lorca, 8° Richter, > 40 muertos, 57 días de replicas
- Hasta 1948 se registraron una decena entre 7 y 8°, Lorca, Murcia, Totana, Ojós, Torres de Cotilla, Lorquí, Fortuna y Cehegín.

- 2-feb-1999, Mula, 5,2° Richter, 20 heridos y daños materiales en numerosas viviendas de Mula, Albudeite y Campos del Río.
- 29-ene-2005, Lorca, 4,7° Ritcher, 120 réplicas, 800 viviendas afectadas en Zarcilla de Ramos y La Paca.
- 2008, se registraron 4.205 terremotos de los que 189 fueron sentidos.
- 11-may-2011, Lorca, 5,2° Ritcher, 9 muertos, > 300 heridos, 40 % edificios dañados (28 % en elem. no estructurales, 12 % en estructura)

#### Aceleración sísmica de cálculo

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

S = coeficiente de amplificación del terreno

 $\rho$  = coeficiente de riesgo (1 importancia normal; 1,3 importancia especial)

Ej.: Imp. normal, suelo medio  $\rightarrow a_c = 0.09g$  (Cartagena),  $a_c = 0.19g$  (Murcia) Imp. normal, suelo blando  $\rightarrow a_c = 0.11g$  (Cartagena),  $a_c = 0.23g$  (Murcia)

### 2. DUCTILIDAD

- Proyecto sismorresistente en la NCSE-02 (basado en capacidad)
  - Método tradicional basado en la **resistencia** o verificación de la seguridad (ELU de no colapso de la estructura sometida al terremoto de proyecto -el más severo esperable en la zona con una probabilidad razonable-, aunque pueda sufrir daños importantes).
  - -La acción sísmica se caracteriza en términos de **fuerzas** mediante **espectros de respuesta elástica**
  - Estas fuerzas se reducen en función de la **DUCTILIDAD** de la estructura:

EHE-08: "Capacidad de los materiales y las estructuras de deformarse en rango no-lineal sin sufrir una degradación sustancial de la capacidad resistente. Desde el punto de vista estructural se define como la relación entre la deformación última de rotura y la deformación plástica ..."

- NCSE-02 no considera explícitamente el control y cuantificación del daño (proy. basado en prestaciones), sino indirectamente limitando la ductilidad

#### • Coeficiente de comportamiento por ductilidad $\mu$

 $\mu$  = 1 (sin ductilidad), 2 (ductilidad baja), 3 (alta) o 4 (muy alta)

Depende de la organización estructural, materiales y detalles constructivos

La elección de  $\mu$  es la decisión más importante (proporcionalmente a  $\mu$  se reduce la resistencia lateral de la estructura respecto a la que tendría en régimen elástico bajo el terremoto de proyecto)

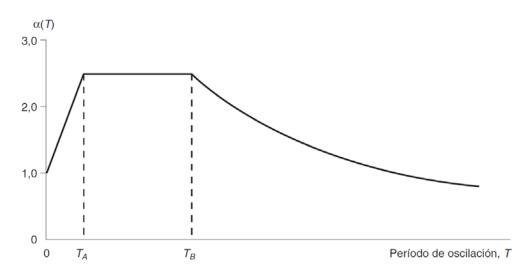


Figura 2.2. Espectro de respuesta elástica

**Fuente:** NCSE-02, 2002

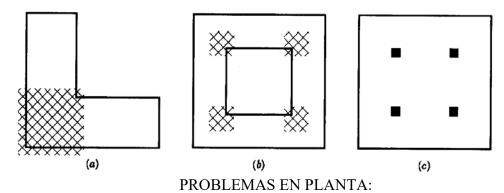
#### A mayor $\mu$ :

- ↑ deformaciones plásticas → ↑ daños estructurales
- ↑ desplazam. lateral → ↑ ef. P-Δ, ↑ daño no estructural, ↑ riesgo golpeteo
- Pero: ↑ capacidad de disipación energía frente a un terremoto más severo
- La aptitud de una estructura para soportar acciones sísmicas depende de 3 aspectos:
  - 1) Acciones, coeficientes de combinación y coeficientes de seguridad (cubierto por normativa)
  - 2) <u>Configuración de la estructura</u> (criterio del proyectista + normativa)
  - 3) Análisis estructural y **detalles constructivos** (proyectista + normativa)

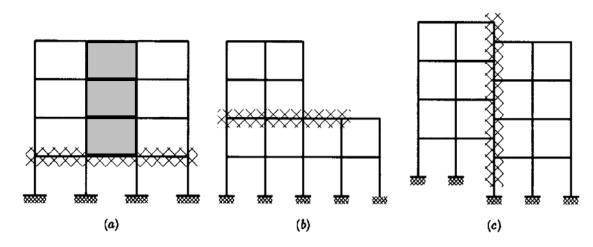
# 3. CONFIGURACIÓN. MÉTODOS DE CÁLCULO

**Configuración regular** ⇒ La que simultáneamente cumple:

- Regularidad geométrica en planta y en alzado, sin entrantes ni salientes importantes en el edificio:
  - Esquinas entrantes < 25 % de las dimensiones totales
  - Escalonamientos < 10 % de la dimensión en planta en esa dirección



a) Plantas complejas. b) Flexibilidad del diafragma. c) Falta de redundancia. El doble rayado indica zonas de alta concentración de tensiones. **Fuente:** Car *et al*, 2000



PROBLEMAS EN ALZADO:

a) Piso débil. b) Escalonamiento. c) Pilares cortos.

El doble rayado indica zonas de alta concentración de tensiones. Fuente: Car et al, 2000

• **Soportes continuos** hasta cimentación, uniformemente distribuidos en planta y sin cambios bruscos en su rigidez.

• Regularidad mecánica en la distribución de rigideces y masas:

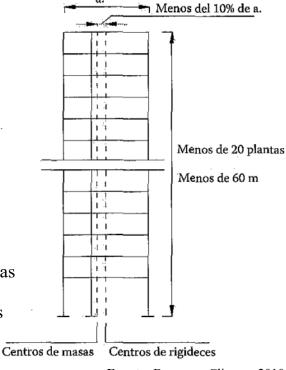
Los c.d.g. y c.d.torsión de todas las plantas tengan una excentricidad < 10 % de la dimensión en planta del edificio, en cada dirección principal

# Configuración irregular

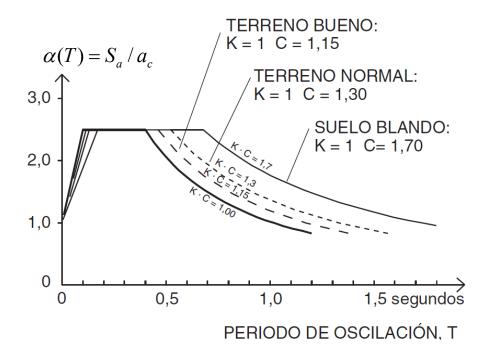
La que no cumple lo anterior

# Procedimientos generales de cálculo

- Métodos estáticos: Método simplificado
  - Config. regular,  $\leq 60$  m altura y  $\leq 20$  plantas
  - Cualquiera de import. normal y < 5 plantas
- Métodos dinámicos (resto de casos):
  - (i) Análisis dinámico directo (mediante acelerogramas)



- Fuente: Benavent-Climent, 2010
- (ii) Análisis modal espectral (mediante espectros de respuesta elástica)

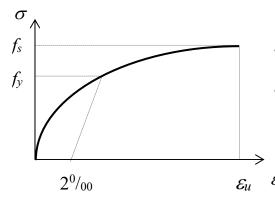


Fuente: NCSE-02, 2002

# 4. MATERIALES

#### ACERO

Debe utilizarse acero **SD** 



fs Tensión de rotura

 $f_y$  Lím. elástico (deform. remanente  $2^0/_{00}$ )

 $\mathcal{E}_u$  Alargamiento en rotura (% sobre 5 $\varnothing$ )

Designación	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\mathcal{E}_{u}$ (% sobre 5Ø)	$f_{s}/f_{y}$
B 400 SD	≥ 400	≥ 480	≥ 20	1,20-1,35
B 500 SD	≥ 500	≥ 575	≥ 16	1,15-1,35

SD: Características especiales de ductilidad

Estos aceros deben satisfacer:

- Ensayo de deformación alternativa
- Ensayo de fatiga

# • HORMIGÓN

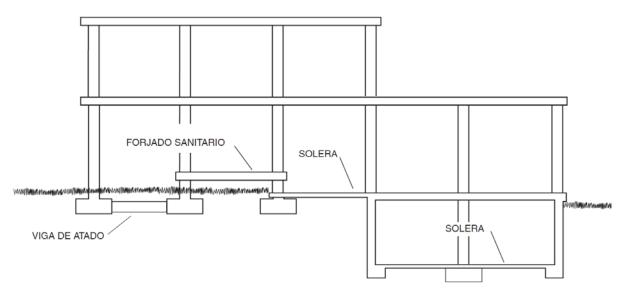
- Resistencia y deformación última pueden incrementarse confinando el hormigón mediante <u>armaduras transversales</u>
- HAR: Presenta deformaciones últimas inferiores al hormigón usual ⇒ Emplear armadura de compresión para aumentar ductilidad

**Fuente:** NCSE-02, 2002

# 5. <u>DETALLES CONSTRUCTIVOS</u>

#### **5.1.** CIMENTACIONES

- Elementos de atado entre zapatas en dos direcciones para impedir desplazamientos horizontales:
  - Serán *vigas de atado* si  $a_c \ge 0.16g$
  - Podrá ser una losa de cimentación si  $a_c < 0.16g$



• Dimensionamiento del elemento de atado:

Compresión:  $A_c f_{cd} + A_s f_{yd} \ge a_c N_d$ 

Tracción:  $A_s f_{yd} > a_c N_d \implies A_s$ 

siendo:  $N_d$  esfuerzo del soporte más cargado de los dos que enlaza

 $a_c$  aceleración sísmica de cálculo

además, para no comprobar la viga de atado a pandeo:

 $b \ge \frac{l}{20}$  siendo: b lado menor de la sección de la viga

*l* luz libre entre caras de zapatas

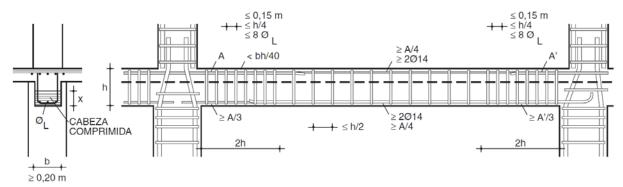
• Dimensiones mínimas:

Viga de atado:  $25\times40$  cm ( $\leq 3$  pisos sobre sótano)  $25\times50$  cm (altura mayor)

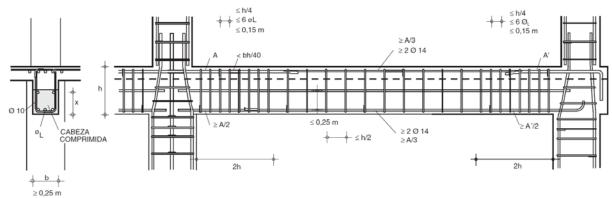
Losa de cimentación: Espesor  $\geq 15$  cm ó l/50 (l distancia entre pilares)

#### **5.2. <u>VIGAS</u>**

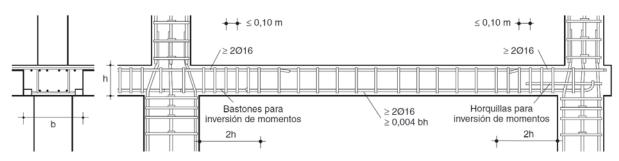
- Son vigas si  $N_d/(A_c f_{cd}) \le 0.10$
- $b/h \ge 0.3$  con b ancho, h canto
- $l/d \ge 4$  con l luz del vano, d canto útil
- Las longitudes de anclaje se aumentarán en 10Ø
- Los empalmes se alejarán de los extremos en una longitud 2h



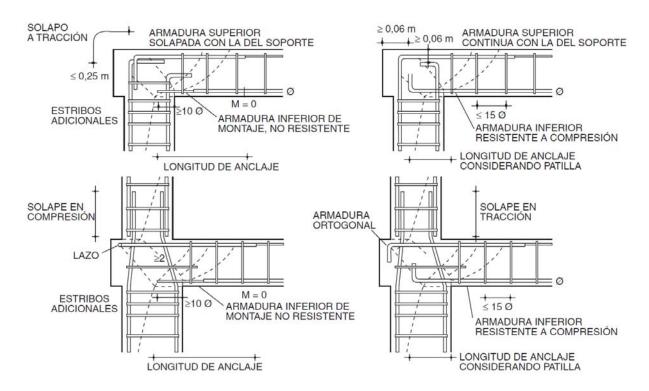
#### Requisitos de vigas para ductilidad alta ( $\mu$ = 3) (NCSE-02)



Requisitos de vigas para ductilidad muy alta ( $\mu = 4$ ) (NCSE-02)



Requisitos de vigas para  $a_c \ge 0.16g$  (NCSE-02)



Disposición de armaduras en nudo extremo (NCSE-02)

#### Zonas críticas (susceptibles de albergar rótulas plásticas):

- Pórticos de nudos rígidos: 2h desde la cara de pilares hacia el vano
- Cargas puntuales: zona situada bajo la carga y 2h a ambos lados de la viga

#### Requisitos de vigas para ductilidad alta ( $\mu = 3$ ) (EHE-08)

Disposiciones generales en toda la viga:

- Las vigas deben presentar descuelgue > prof. f.n. en la zona de apoyo bajo el momento negativo de rotura. El ancho del descuelgue ≥ 200 mm
- $A_s \ge 2\emptyset 14 \ge 25 \% A'_{s,max}$  entre apoyos
- Cuantía máxima a tracción en cualquier sección de la viga:

$$\rho_{\text{max}} = \rho' + 72 \frac{f_{cd}}{f_{yd}^2}$$

-  $A_{\alpha} \ge \emptyset 6$  cercos cerrados  $S_t \le h/2$ 

Disposiciones a cumplir en zonas críticas:

$$-A_s' \ge 50 \% A_s$$

-  $A_{\alpha} \ge \emptyset$ 6 cercos cerrados  $S_t \le d/4 \le 6\emptyset_{\min} \le 24\emptyset_t \le 200 \text{ mm}$ En apoyos, la 1ª armadura transversal se dispone a 50 mm del apoyo.

#### Requisitos de vigas para ductilidad muy alta ( $\mu$ = 4) (EHE-08)

Disposiciones generales en toda la viga:

- Las vigas deben presentar descuelgue > prof. f.n. en la zona de apoyo bajo el momento negativo de rotura. El ancho del descuelgue ≥ 250 mm
- $A_s \ge 2\emptyset 14 \ge 33 \% A'_{s,max}$  entre apoyos
- Cuantía máxima a tracción en cualquier sección de la viga:

$$\rho_{\text{max}} = \rho' + 50 \frac{f_{cd}}{f_{yd}^2}$$

-  $A_{\alpha} \ge \emptyset 6$  cercos cerrados  $S_t \le h/2$ 

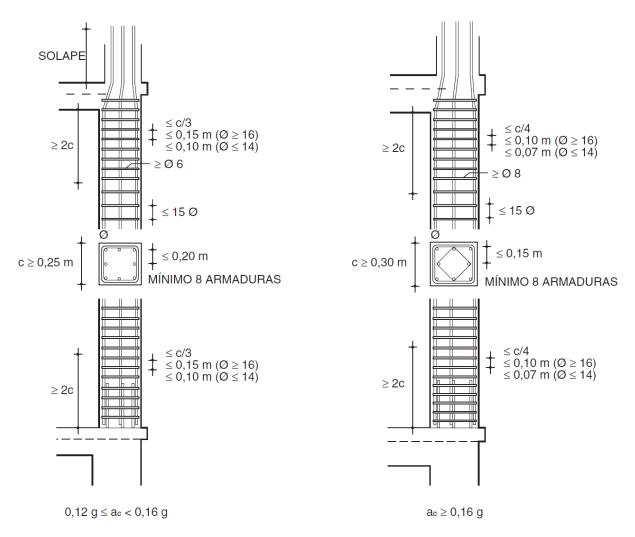
Disposiciones a cumplir en zonas críticas:

- 
$$A_s$$
 ' ≥ 33 %  $A_s$ 

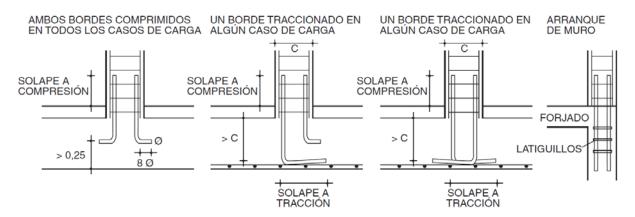
-  $A_{\alpha} \ge \emptyset$ 6 cercos cerrados  $S_t \le d/4 \le 8\emptyset_{\min} \le 24\emptyset_t \le 200$  mm En apoyos, la 1ª armadura transversal se dispone a 50 mm del apoyo.

#### 5.3. SOPORTES

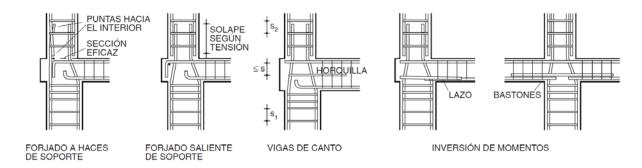
- Las longitudes de anclaje se aumentarán en 10∅
- Empalmes alejados de extremos o de zonas de formación rótulas plást.



Armado de soportes de hormigón (NCSE-02)



Nudos de arranque, armaduras de espera de soporte (NCSE-02)



#### **Nudos intermedios (NCSE-02)**



**Nudos superiores (NCSE-02)** 

#### **EHE-08:**

- (Dim. mayor)/(Dim. menor rectángulo en que se inscribe la secc. transv.)  $\leq 2.5$
- Zonas críticas a ambos extremos de una columna:

Long. zona crítica = max (máx. dim. secc. transv.; 1/6 long. libre; 450 mm)

- Si long. libre columna < 3 máx. dim. secc. transv. → Columna entera zona crít.

#### Disposiciones generales:

- 1 % ≤ Cuantía armadura longitudinal ≤ 6 %
- Si sección simétrica → Armado longitudinal simétrico
- Armado longitudinal ≥ 3 barras en cada cara
- Secciones circulares ≥ 6 barras
- $A_{\alpha} \ge \emptyset$ 6 cercos cerr.; cuantía  $\ge 0.08$  en zonas crít.;  $S_t \le 15 \emptyset_{\min} \le 150$  mm

Disposiciones para ductilidad alta:

- La sección mínima de la sección transversal será de 250 mm
- La cuantía máxima de armado longitudinal será de 4 %
- La distancia entre armaduras longitudinales no será superior a 200 mm.
- En zonas críticas cuantía de armadura transversal:

$$\omega_{W,\text{min}} = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{v_d f_{yd}}{1.333} \frac{b_c}{b_0} - 0.035 \right)$$

donde:

$$V_d = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

 $b_c$  Ancho de la sección transversal

 $b_0$  Ancho núcleo confinado (entre líneas centrales de cercos confinantes)

α Factor de efectividad del confinamiento (art. 40.3.4)

- En zonas críticas:  $S_t \le \min(b_0/3; 150 \text{ mm}; 8\emptyset_{\min})$ 

Disposiciones para ductilidad muy alta:

- La sección mínima de la sección transversal será de 300 mm
- La cuantía máxima de armado longitudinal será de 4 %
- El diámetro mínimo de la armadura transversal será Ø8
- La distancia entre armaduras longitudinales no será superior a 150 mm.
- En zonas críticas cuantía de armadura transversal:

$$\omega_{W,min} = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{v_d f_{yd}}{950} \frac{b_c}{b_0} - 0.035 \right)$$

- En zonas críticas:  $S_t \le \min(b_0/4; 100 \text{ mm}; 6\emptyset_{\min})$ 

#### **5.4. PANTALLAS**

- Son elementos de **gran rigidez** que resisten esfuerzos horizontales
- espesor mínimo 15 cm  $\leq$  5 % altura libre del piso
- armadura principal en ambas caras

$$\frac{N_d}{A_c f_{cd}} \le 0.40$$

- cuantía geométrica de armado longitudinal será de 4 %
- las dimensiones no variarán a lo largo de la altura
- evitar distribuciones irregulares de huecos (alineados verticalmente)
- longitudes de anclaje se aumentarán en 10∅

#### Para $a_c \ge 0.16g$ :

#### **Armadura longitudinal:**

- $0.25 \% \le \text{cuantia} \le 4 \%$
- emparrillado ortogonal en ambas caras
- $\emptyset \le 1/10$  espesor muro
- separación ≤ 15 cm

#### **Armadura transversal:**

- $0.25 \% \le \text{cuantia} \le 4 \%$
- en los bordes de la pantalla se dispondrá una zona confinada por cercos, en un ancho ≥ 1/5 ancho pantalla ó el doble de su espesor

$$S_t \le \begin{cases} 1/3 \cdot \text{espesor pantalla} \\ 10 \varnothing_{\text{L}} \quad \text{diám.barra más fina} \\ 15 \text{ cm} \end{cases}$$

- Disposiciones para ductilidad alta/muy alta y zonas crít. → Apdo. 6.5 Anejo 10

# Estructuras en zonas sísmicas

# 6. Patología de daños post-sismo



#### **Antonio Tomás Espín**

Dr. Ingeniero de Caminos, CC. y PP. Dpto. de Ingeniería Minera y Civil - UPCT Área de Ingeniería de la Construcción



# ndice

### PATOLOGÍA DE DAÑOS POST-SISMO

- 6.1 Mecanismos de daño
- 6.2 Daños en pilares
- 6.3 Daños en vigas
- 6.4 Daños en nudos y pantallas de corte



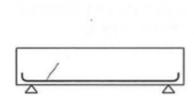
# 6 Mecanismos de daño

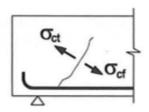


# **MECANISMOS DE DAÑO**

- Fisuras/grietas: Daño más común y apreciable
  - Fisuras estructurales
    - Excesiva tensión en el hormigón (de tracción o compresión)
    - Alargamiento de la armadura
  - Fisuras no estructurales
    - Debidas a la reología del hormigón (retracción y fluencia)
- Fisuras estructurales

Debidas a las tensiones de tracción en el hormigón



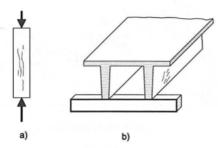


Fuente: Calavera, 2005



# **MECANISMOS DE DAÑO**

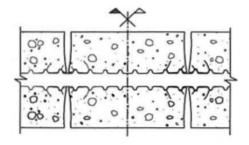
Por compresión excesiva: (a) Elemento comprimido. (b) En el alma.



Fuente: Calavera, 2005

Debidas al alargamiento de la armadura





Fuente: Calavera, 2005

5



# **MECANISMOS DE DAÑO**

#### · El sismo:

- $\uparrow$  Deformaciones  $\rightarrow$   $\uparrow$  Esfuerzos (tensiones)  $\rightarrow$   $\uparrow$  Fisuras  $\rightarrow$  <u>Grietas</u>
- También puede producir asientos del terreno

#### Piezas a flexión

- Su comportamiento depende de la cuantía mecánica a tracción
- Las normas establecen <u>cuantías mínimas</u> para <u>evitar rotura frágil</u>



# **MECANISMOS DE DAÑO**

#### Piezas a cortante

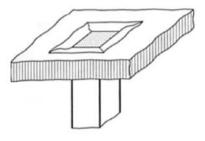
- El equilibrio de la pieza se establece mediante tres **mecanismos**:
  - Esfuerzo de tracción en la armadura transversal
  - Incremento de tracción en la armadura de flexión
  - Resultante de compresiones en las bielas inclinadas

#### • Formas de agotamiento habituales:

- Rotura por tracción diagonal del hormigón (grietas inclinadas)
- Agotamiento en tracción de la armadura transversal

#### Punzonamiento

- Causante de graves daños



Fuente: Calavera, 2005





# **MECANISMOS DE DAÑO**

#### Daños en PILARES:

- Fisuras/grietas inclinadas por cortante y/o torsión
- Fisuras/grietas horizontales
- Punzonamiento de la losa/forjado
- Desprendimiento del recubrimiento
- Pandeo de barras
- Apertura/rotura de cercos
- Fenómeno de pilar o columna corta

#### Daños en VIGAS:

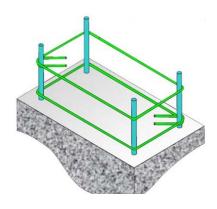
- Fisuras/grietas inclinadas por cortante y/o torsión
- Fisuras/grietas verticales por flector alternante
- Fisuras por fallo de anclaje
- Fisuras por asientos en cimentación
- Fenómeno de viga plana

#### Daños en NUDOS y PANTALLAS DE CORTE:

- Fisuras/grietas por flexión
- Fisuras/grietas por cortante
- Fisuras/grietas verticales
- Fisuras/grietas inclinadas en pantallas de corte
- Fisuras/grietas en elementos de separación
- Agrietamientos en cruz en cerramientos



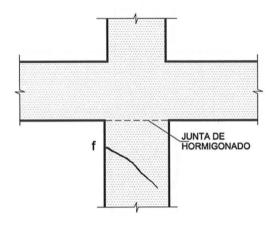
# 6.2 Daños en pilares

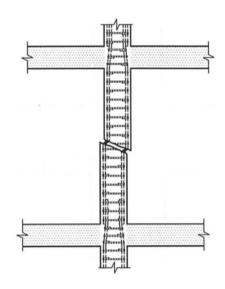




# **DAÑOS EN PILARES**

 Fisuras (< 1 mm) o grietas (> 1 mm) inclinadas, por tracción diagonal (cortante y/o torsión)



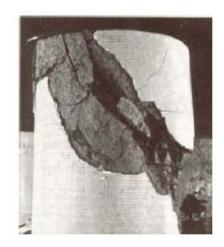


Fuente: Calavera, 2005





Fuente: Fernández, 1994



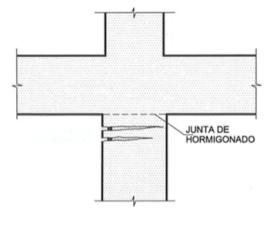
Fuente: Estévez, 2003

11



# **DAÑOS EN PILARES**

• Grietas horizontales (> 2 mm)



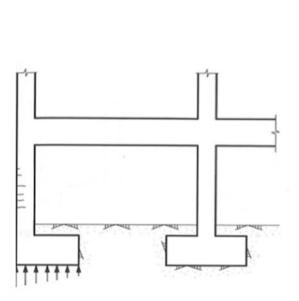
Fuente: Calavera, 2005



Fuente: Muñoz, 2009



• Fisuras horizontales en pilares con zapatas excéntricas (de medianería o esquina)





Fuente: Calavera, 2005

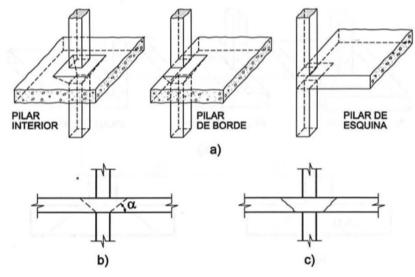
Fuente: Serrano, 2013

13



# **DAÑOS EN PILARES**

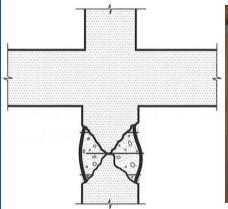
• Punzonamiento de la losa/forjado



Fuente: Calavera, 2005



 Roturas con desprendimiento del recubrimiento, pandeo de armaduras y apertura/rotura de cercos







Fuente: Calavera, 2005

Foto: Dpto. Ing. Civil UPCT, 2011

Foto: Bomberos de Cartagena, 2011

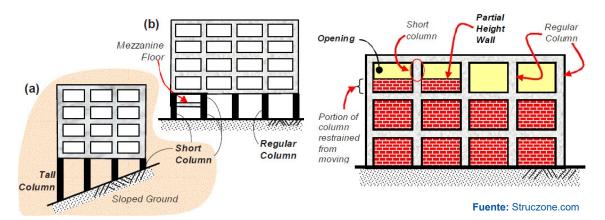
15



# **DAÑOS EN PILARES**

#### **PILARES DÉBILES**

- Daños producidos en pilares en vez de en vigas:
  - Pilares de menor resistencia que vigas
  - Pilares cortos:



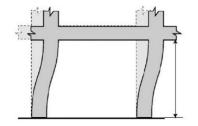
- (a) Terreno inclinado. (b) Forjados en niveles intermedios.
  - (c) Confinamiento lateral por muros a media altura.

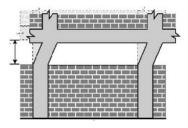


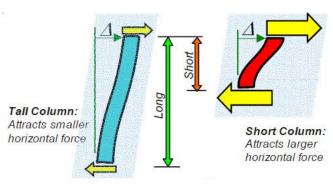
#### Mecanismo de fallo frágil por cortante

Gran deformación del pilar corto por desplazarse su nudo de cabeza lo mismo que los pilares largos

Fuente: Sruczone.com







Short columns are stiffer and attract larger forces during earthquakes (this must be accounted for in design)

Fuente: Struczone.com

Effect of variations of column stiffness. Short column takes 8 times (= 23) the lateral load of the long column

Fuente: Naeim, 2001



17

# **DAÑOS EN PILARES**

Fotos: Dpto. Ing. Civil UPCT, 2011

Fenómeno de pilar o columna corta

→ Daño severo



- Se debe evitar su aparición:
  - No adosar directamente las paredes a los pilares → espacio libre
     o junta que permita la libre deformación del pilar
  - En caso adosar paredes → A lo largo de toda la longitud del pilar

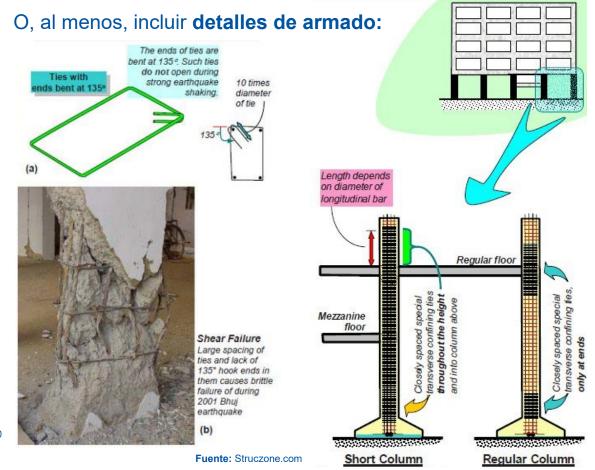


Fuente: Astorga, 2009

19



# **DAÑOS EN PILARES**



20



#### Referencias a los pilares cortos en NCSE-02 (EHE no los incluye)

#### 4.5. De las estructuras de hormigón armado

#### 4.5.1. Criterios generales

Los preceptos de esta Norma están formulados en la suposición de que:

. . .

- Se alcanza la cedencia a flexión en el acero de la armadura longitudinal antes que el agotamiento de la sección por cortante, lo que se cumple si el coeficiente de seguridad a cortante en toda sección es superior al de la misma sección a momento flector. Las **piezas cortas**, tales como enanos, conviene comprobarlas para el cortante que resulte de considerar en las secciones extremas momentos iguales a la capacidad resistente a flexión que posean y con signo opuesto.

#### **Comentarios**

#### C.4.3. De la cimentación

C.4.3.1. Criterio general de diseño

. . .

La existencia de **pilares cortos** entre el primer forjado y la cimentación obliga a considerar éstos en el modelo de análisis de la estructura.

#### C.4.5. De las estructuras de hormigón armado

C.4.5.1. Criterios generales

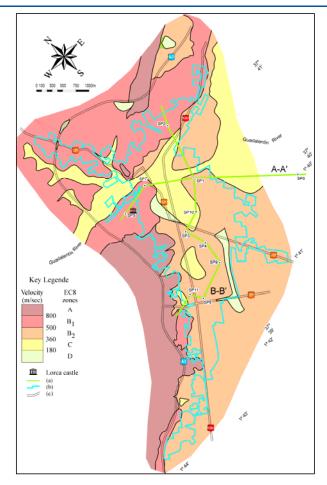
. . .

La existencia de **piezas cortas**, como los enanos, induce aumentos de la solicitación por sismo que no están bien establecidos, así como una fuerte disminución de la ductilidad, por lo que hay que ser especialmente prudente.

2



### **DAÑOS EN PILARES**





#### **DATOS**

Provincia	Murcia
Localidad	Lorca
$a_b/g$ (Anejo 1 NCSE-02 y NCSP-07) =	0,12
K (Anejo 1 NCSE-02 y NCSP-07) =	1
Construcc. de importancia normal (N) ó especial (E) =	N
Tipo de terreno (apdo 2.4 NCSE-02 y 3.2 NCSP-07) =	2
Ductilidad (µ) =	2
Pórticos de hormigón (H) o de acero (A) =	Н

#### **CÁLCULOS**

$$\rho \cdot \frac{a_b}{g} = 0,12$$
 $C = 1,3$ 
 $\rho = 1,0$ 
 $S = 1,0373$ 

$$a_c/g = \frac{0,12}{}$$

#### 1º) ACELERACIÓN DE CÁLCULO 2º) MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO

$$s_{K} = \begin{pmatrix} a_{c} \\ g \end{pmatrix} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \eta_{k} \qquad F_{K} = P_{K} \cdot s_{K}$$

$$\beta = 0,55 \qquad \eta_{K} = 1,0$$

$$T_{F} = 0,09 \qquad T_{B} = 0,52$$

$$\alpha = 2,50$$

$$\alpha\beta\eta = 1,375$$

$$s_K = 0,17$$

23



# **DAÑOS EN PILARES**

#### **DATOS**

Provincia	Murcia
Localidad	Lorca
$a_b/g$ (Anejo 1 NCSE-02 y NCSP-07) =	0,12
K (Anejo 1 NCSE-02 y NCSP-07) =	1
Construcc. de importancia normal (N) ó especial (E) =	N
Tipo de terreno (apdo 2.4 NCSE-02 y 3.2 NCSP-07) =	3
Ductilidad (μ) =	2
Pórticos de hormigón (H) o de acero (A) =	Н

#### **CÁLCULOS**

$$\rho \cdot \frac{a_b}{g} = 0.12$$
 $C = 1.6$ 
 $\rho = 1.0$ 
 $S = 1.2614$ 

$$a_c/g = \frac{0,15}{}$$

#### 1º) ACELERACIÓN DE CÁLCULO 2º) MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO

$$s_{K} = \begin{pmatrix} a_{c} \\ g \end{pmatrix} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \eta_{k} \qquad F_{K} = P_{K} \cdot s_{K}$$

$$\beta = 0,55 \qquad \eta_{K} = 1,0$$

$$T_{F} = 0,09 \qquad T_{B} = 0,64$$

$$\alpha = 2,50$$

$$\alpha\beta\eta = 1,375$$

$$S_{K} = 0,21$$



#### **DATOS**

Provincia	Murcia
Localidad	Lorca
$a_b/g$ (Anejo 1 NCSE-02 y NCSP-07) =	0,12
K (Anejo 1 NCSE-02 y NCSP-07) =	1
Construcc. de importancia normal (N) ó especial (E) =	Е
Tipo de terreno (apdo 2.4 NCSE-02 y 3.2 NCSP-07) =	2
Ductilidad (μ) =	2
Pórticos de hormigón (H) o de acero (A) =	Н

#### **CÁLCULOS**

$$\rho \cdot \frac{a_b}{g} = 0.16$$
 $C = 1.3$ 
 $\rho = 1.3$ 
 $S = 1.0325$ 

$$a_c/g = 0,16$$

#### 1º) ACELERACIÓN DE CÁLCULO 2º) MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO

$$s_{K} = \begin{pmatrix} a_{c} / g \end{pmatrix} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \eta_{k} \qquad F_{K} = P_{K} \cdot s_{K}$$

$$\beta = 0,55 \qquad \eta_{K} = 1,0$$

$$T_{F} = 0,09 \qquad T_{B} = 0,52$$

$$\alpha = 2,50$$

$$\alpha\beta\eta = 1,375$$

$$S_{K} = 0.22$$

$$s_K = 0,22$$

25



# **DAÑOS EN PILARES**

#### **DATOS**

Provincia	Murcia
Localidad	Lorca
$a_b/g$ (Anejo 1 NCSE-02 y NCSP-07) =	0,12
K (Anejo 1 NCSE-02 y NCSP-07) =	1
Construcc. de importancia normal (N) ó especial (E) =	Е
Tipo de terreno (apdo 2.4 NCSE-02 y 3.2 NCSP-07) =	3
Ductilidad (μ) =	2
Pórticos de hormigón (H) o de acero (A) =	Н

#### **CÁLCULOS**

$$\rho \cdot \frac{a_b}{g} = 0.16$$
 $C = 1.6$ 
 $\rho = 1.3$ 
 $S = 1,2278$ 

$$a_c/g = 0,19$$

#### 1º) ACELERACIÓN DE CÁLCULO 2º) MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO

$$s_{K} = \begin{pmatrix} a_{c} \\ g \end{pmatrix} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \eta_{k} \qquad F_{K} = P_{K} \cdot s_{K}$$

$$\beta = 0,55 \qquad \eta_{K} = 1,0$$

$$T_{F} = 0,09 \qquad T_{B} = 0,64$$

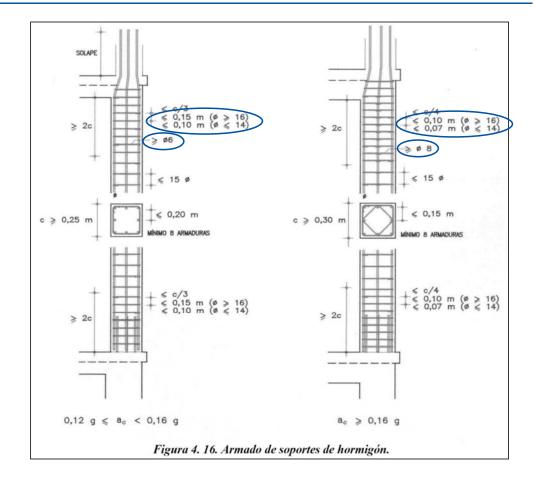
$$\alpha = 2,50$$

$$\alpha\beta\eta = 1,375$$

$$S_{K} = 0.26$$

$$S_K = 0,26$$





27



# **DAÑOS EN PILARES**

Fenómeno de pilar o columna corta → Daño severo

c.Ø6/20 cm





28

Fotos: Dpto. Ing. Civil UPCT, 2011



Fenómeno de pilar o columna corta → Daño severo

c.Ø6/20 cm



Fotos: Dpto. Ing. Civil UPCT, 2011



29



# **DAÑOS EN PILARES**

• Fenómeno de *pilar o columna corta →* Daño severo



Fotos: Dpto. Ing. Civil UPCT, 2011





• Fenómeno de *pilar o columna corta →* Daño severo

c.Ø8/10 cm





Fotos: Bomberos de Cartagena, 2011

31



# **DAÑOS EN PILARES**

• Fenómeno de *pilar o columna corta →* Daño severo

c.Ø8/10 cm









• Fenómeno de *pilar o columna corta →* Daño severo

c.Ø8/10 cm



33

Foto: Bomberos de Cartagena, 2011



# **DAÑOS EN PILARES**

• Pilar exento → Daño leve



Foto: Bomberos de Cartagena, 2011



#### Pilar exento → Daño leve







35



# **DAÑOS EN PILARES**

### PISO DÉBIL

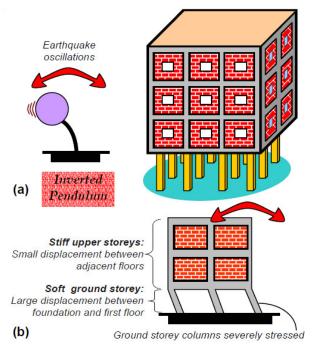
- Piso más vulnerable al daño sísmico que el resto, por tener menor rigidez, menor resistencia, o ambas

Fuente: Car et al, 2000

- Esquemas usuales:
  - Mayor altura → menor rigidez, mayor efecto 2º orden
  - Interrupción elementos verticales: pilares, muros estructurales, divisorias alineadas con pórticos → mayor flexibilidad, cambio brusco de rigidez



#### PISO DÉBIL





(a) 1971 San Fernando Earthquake



Fuente: Struczone.com

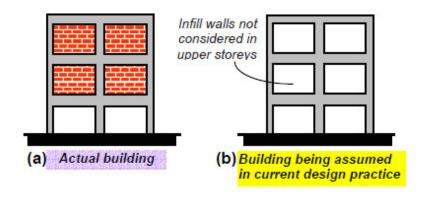
(b) 2001 Bhuj Earthquake

37



# **DAÑOS EN PILARES**

# PISO DÉBIL



#### Open ground storey building.

Assumptions made in current design practice are not consistent with the actual structure

Fuente: Struczone.com



# PISO DÉBIL





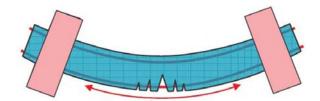
# **DAÑOS EN PILARES**

# PISO DÉBIL





# 6.3 Daños en vigas





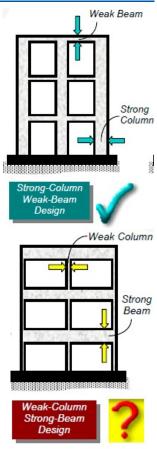
# **DAÑOS EN VIGAS**

 Al ser los pilares vitales en el sostenimiento de la estructura, es preferible que aparezcan los daños antes en las vigas

Principio básico de diseño

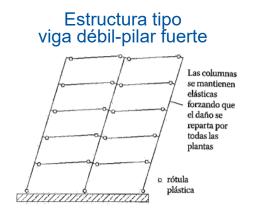


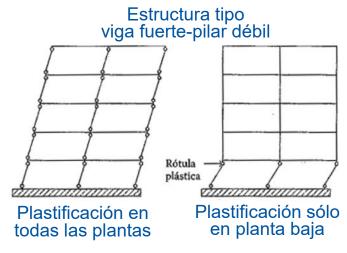
VIGA DÉBIL – PILAR FUERTE





- Viga débil-pilar fuerte (weak beam-strong column)
  - Forzar la aparición de rótulas plásticas en las vigas
  - Evitar concentración de energía deformación plástica en pilares
  - Garantizar la colaboración de todas las plantas



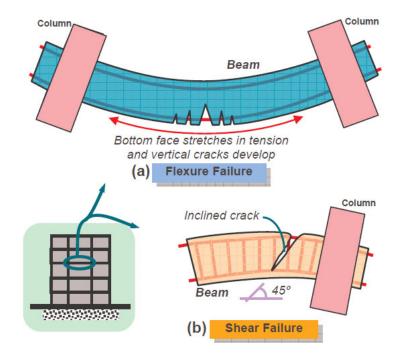


Fuente: Benavent-Climent, 2010

43

# **DAÑOS EN VIGAS**

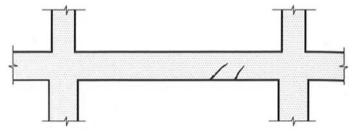
Daños habituales por flexión y cortante



Fuente: Struczone.com



 Fisuras/grietas inclinadas por tracción diagonal (esfuerzo cortante y/o torsor)



Fuente: Calavera, 2005





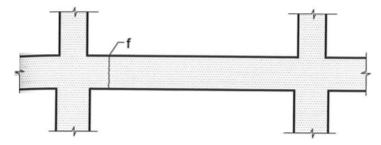
Fuente: Astorga, 2009

45



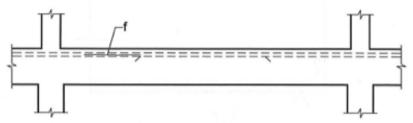
# **DAÑOS EN VIGAS**

• Fisuras/grietas verticales (momento flector alternante)



Fuente: Calavera, 2005

 Fisuras por fallo de anclaje (concentración de cortantes → regla decalaje) → Aumentar longitudes de anclaje 10∅

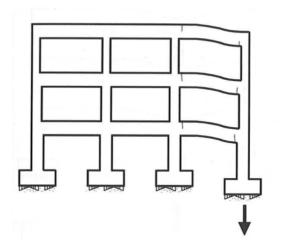


Fuente: Calavera, 2005

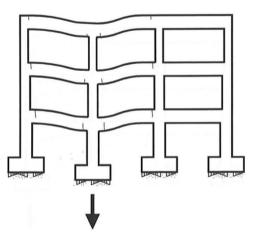


# • Fisuras por asientos en cimentación

Pilar de fachada/esquina



Pilar intermedio



Fuente: Calavera, 2005

47



# **DAÑOS EN VIGAS**

- Fisuras por asientos en cimentación
  - ¿Descenso de pilar de esquina?



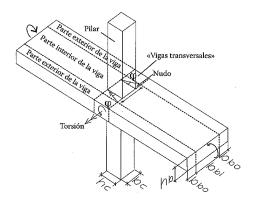


Foto: Bomberos de Cartagena, 2011



#### VIGAS PLANAS

- Vigas cuyo ancho sobrepasa el del pilar al que acometen
- Parte de la armadura está anclada fuera del ancho de la columna
- Graves inconvenientes:
  - X Reducida rigidez → Grandes deformaciones ante sismo
  - X Deficiente transmisión de los flectores desde viga a pilar
  - X Limitada capacidad de disipación de energía
- Principal problema:



Transmisión del flector al pilar mediante **torsiones** en las zonas laterales (vigas transversales)

49

Fuente: Benavent-Climent, 2010

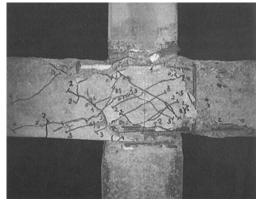


# **DAÑOS EN VIGAS**

#### VIGAS PLANAS

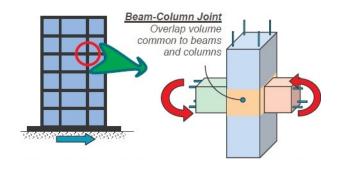
- La norma NCSE-02 permite su empleo, pero:
  - ✓ Coeficiente ductilidad ≤ 2
  - ✓ Con la armadura (longitudinal y transversal) centrada en el pilar dentro de una anchura máxima permitida y atravesando el nudo
  - ✓ Difícil garantizar comportamiento viga débil-pilar fuerte
- Fallos de conexión viga plana-pilar:







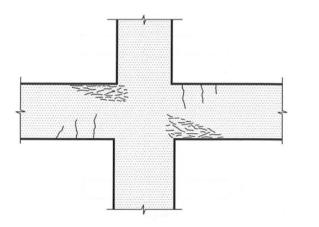
# 6 4 Daños en nudos y pantallas de corte

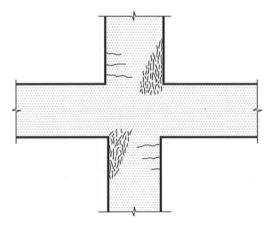




# DAÑOS EN NUDOS Y PANTALLAS DE CORTE

· Zonas próximas al nudo: Fisuras/grietas por flexión



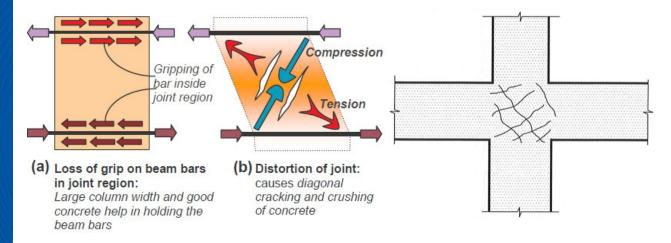


Fuente: Calavera, 2005



# DAÑOS EN NUDOS Y PANTALLAS DE CORTE

- Nudos: Problemas principales
  - (a) Fallo de anclaje de la armadura de la viga
  - (b) Fisuración diagonal en el nudo



Fuente: Struczone.com

Fuente: Calavera, 2005

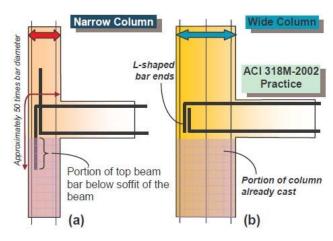
53



# DAÑOS EN NUDOS Y PANTALLAS DE CORTE

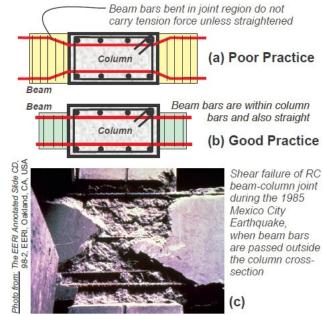
· Fallo de anclaje de la armadura de la viga.

Buena práctica de armado



Anclaje de barras en nudos de esquina

Fuente: Struczone.com



Anclaje de barras en nudos interiores

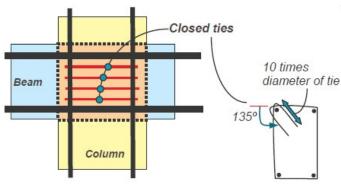
Fuente: Struczone.com

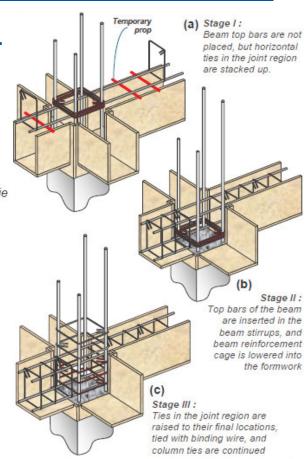


# **DAÑOS EN NUDOS Y PANTALLAS DE CORTE**

Fisuración diagonal en el nudo.

Buena práctica de armado





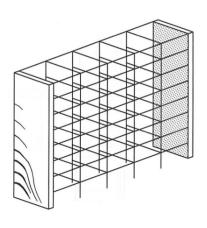


Fuente: Struczone.com



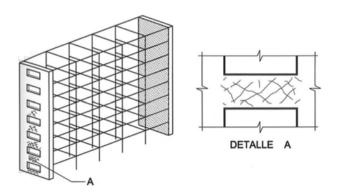
# DAÑOS EN NUDOS Y PANTALLAS DE CORTE

 Fisuras/grietas inclinadas en pantallas de corte



Fuente: Calavera, 2005

 Fisuras/grietas en elementos de separación



Fuente: Calavera, 2005



# DAÑOS EN NUDOS Y PANTALLAS DE CORTE

# Agrietamientos en cruz en cerramientos





Foto: Bomberos de Cartagena, 2011

Foto: Dpto. Ing. Civil UPCT, 2011

57



# DAÑOS EN NUDOS Y PANTALLAS DE CORTE

# • Agrietamientos en cruz en cerramientos



Foto: Dpto. Ing. Civil UPCT, 2011



Foto: Dpto. Ing. Civil UPCT, 2011