# CAPÍTULO XI

## CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

### Artículo 49º Estado Límite de Fisuración

### 49.1 Consideraciones generales

Para las comprobaciones relativas al Estado Límite de Fisuración, los efectos de las acciones están constituidos por las tensiones en las secciones (s) y las aberturas de fisura (*w*) que aquéllas ocasionan, en su caso.

En general, tanto *s* como *w* se deducen a partir de las acciones de cálculo y las combinaciones indicadas en el Capítulo III para los Estados Límite de Servicio.

Las solicitaciones se obtendrán a partir de las acciones, según lo expuesto en el Capítulo V. Las tensiones, aberturas de fisuras u otros criterios de comprobación se evaluarán según las prescripciones de 49.2 si se trata de solicitaciones normales, de 49.3 para esfuerzos cortantes y de 49.4 para esfuerzos de torsión.

### 49.2 Fisuración por solicitaciones normales

#### *49.2.1 Aparición de fisuras por compresión*

Bajo la combinación más desfavorable de acciones correspondiente a la fase en estudio, las tensiones de compresión en el hormigón deben cumplir

$$\sigma_c \leq 0{,}60\, f_{ck,j}$$

donde:

$\sigma_c$ Tensión de compresión del hormigón en la situación de comprobación.

$f_{ck,j}$ Valor supuesto en el proyecto para la resistencia característica a *j* días (edad del hormigón en la fase considerada).

#### *49.2.2 Estado Límite de Descompresión*

Los cálculos relativos al Estado Límite de Descompresión consisten en la comprobación de que, bajo la combinación de acciones correspondiente a la fase en estudio, no se alcanza la descompresión del hormigón en ninguna fibra de la sección.

#### *49.2.3 Fisuración por tracción. Criterios de comprobación*

La comprobación general del Estado Límite de Fisuración por tracción consiste en satisfacer la siguiente inecuación:

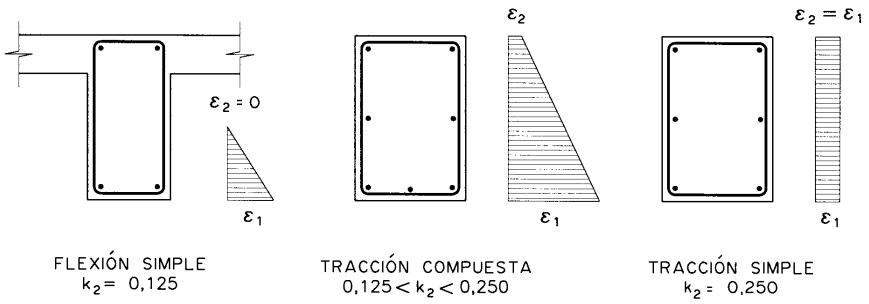
$$w_k \leq w_{max}$$

donde:

$w_k$ Abertura característica de fisura.

$w_{máx}$ Abertura máxima de fisura definida en 49.2.4.

### *49.2.4 Valor*




En el pecíficos (estanquidad, máximas aberturas de f ran en la tabla 49.2.4.

En ele cíficos, y bajo la combi distintos ambientes, de

Tabla 49.2.4

| Clase de exposición | $w_{máx}$ [mm] | |
|---|---|---|
| | Hormigón armado | Hormigón pretensado |
| I | 0,4 | 0,2 |
| IIa, IIb, H | 0,3 | 0,2[1)] |
| IIIa, IIIb, IV, F | 0,2 | Descompresión |
| IIIc, Qa, Qb, Qc | 0,1 | |

1) Adicionalmente deberá comprobarse que las armaduras activas se encuentran en la zona comprimida de la sección.

### *49.2.5 Método general de cálculo de la abertura de fisura*

La abertura característica de fisura se calculará mediante la siguiente expresión:

$$w_k = ? \; s_m ? _{sm}$$

donde:

ß Coeficiente que relaciona la abertura media de fisura con el valor característico y vale 1,3 para fisuración producida por acciones indirectas solamente y 1,7 para el resto de los casos.

$s_m$ Separación media de fisuras, expresada en mm.

$$s_m = 2\,c + 0{,}2\,s + 0{,}4\,k_1 \frac{? \; A_{c,eficaz}}{A_s}$$

$e_{sm}$ Alargamiento medio de las armaduras, teniendo en cuenta la colaboración del hormigón entre fisuras.

$$? _{sm} = \frac{? _s}{E_s} ? 1 - k_2 ? ? \frac{? _{sr}}{? _s} ? ^2 ? ? ? 0{,}4 \frac{? _s}{E_s}$$

$c$ Recubrimiento de hormigón.

$s$ Distancia entre barras longitudinales. Si $s>15?$ se tomará $s=15?$ .
En el caso de vigas armadas con $n$ barras, se tomará $s=b/n$ siendo $b$ el ancho de la viga.

$k_1$ *Coeficiente que representa la influencia del diagrama de tracciones en la sección, Figura*

*49.2.5.a*

de valor

$$k_1 = \frac{?_1 + ?_2}{8?_1}$$

donde $e_1$ y $e_2$ son las deformaciones máxima y mínima calculadas en sección fisurada, en los límites de la zona traccionada (figura 49.2.5.a).

? Diámetro de la barra traccionada más gruesa o diámetro equivalente en el caso de grupo de barras.

$A_{c,\ eficaz}$ Área de hormigón de la zona de recubrimiento, definida en la figura 49.2.5.b, en donde las barras a tracción influyen de forma efectiva en la abertura de las fisuras.

$A_s$ Sección total de las armaduras situadas en el área $A_{c,\ eficaz}$.

$s_s$ Tensión de servicio de la armadura pasiva en la hipótesis de sección fisurada.

$E_s$ Módulo de deformación longitudinal del acero.

$k_2$ Coeficiente de valor 1,0 para los casos de carga instantánea no repetida y 0,5 para los restantes.

$s_{sr}$ Tensión de la armadura en la sección fisurada en el instante en que se fisura el hormigón, lo cual se supone que ocurre cuando la tensión de tracción en la fibra más traccionada de hormigón alcanza el valor $f_{ct,m}$ (39.1).

Para secciones pretensadas con armadura activa adherente y armadura pasiva, el cálculo de la abertura de fisura se realiza como si se tratase de una sección de hormigón armado teniendo en cuenta la acción del pretensado como una acción exterior y la armadura pasiva existente en la sección.

Como alternativa, para secciones pretensadas con armadura adherente y sin armadura pasiva, de forma simplificada, si el incremento de tensión de la armadura activa debido a la acción de las cargas exteriores es inferior a 200 N/mm$^2$, se supone que no se ha alcanzado una abertura de fisura superior a 0,2 mm.

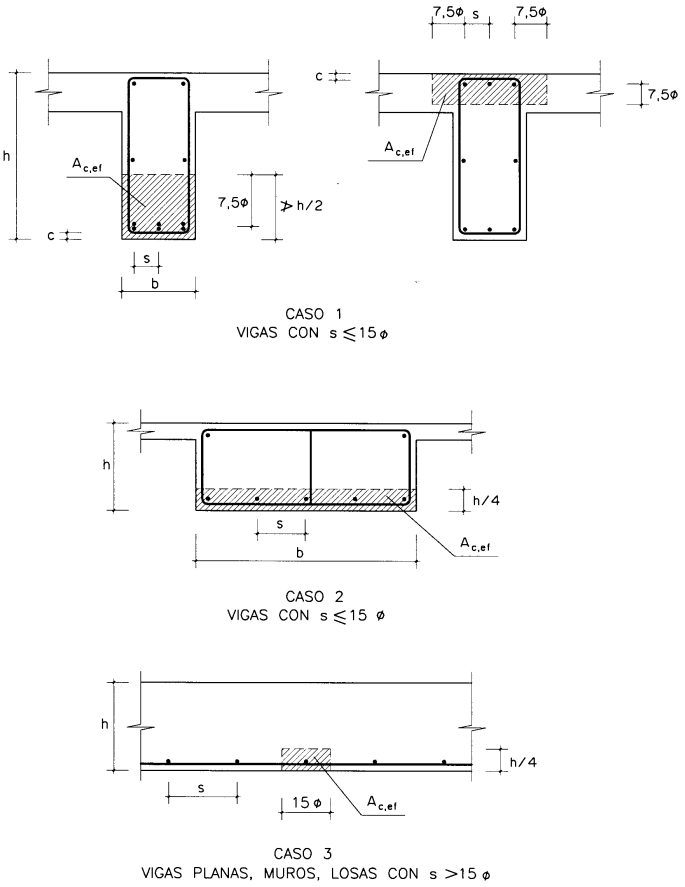



*Figura 49.2.5.b*

## 49.3 Limitación de la fisuración por esfuerzo cortante

Puede suponerse que la fisuración debida a esfuerzo cortante se controla adecuadamente siempre que se cumplan las separaciones entre estribos definidas en la tabla 49.3.

Tabla 49.3
Separación entre estribos de vigas para el control de la fisuración

| $\frac{V_{rd} - 3V_{cu}}{A_\gamma \, d} \, sen\gamma \; \left[\frac{N}{mm^2}\right]$ (*) | Separación entre estribos [mm] |
|---|---|
| < 50 | 300 |
| 75 | 200 |
| 100 | 150 |
| 150 | 100 |
| 200 | 50 |

(*) El significado de las distintas variables es el mismo que el utilizado en el Artículo 44º.

No se necesitará ninguna comprobación en aquellas piezas en que no sea necesario disponer armadura de cortante.

## 49.4 Limitación de la fisuración por torsión

Puede suponerse que la fisuración debida a esfuerzo torsor se controla adecuadamente siempre que la separación entre armaduras transversales cumpla las siguientes limitaciones:

$$s_t \leq \frac{a}{2}$$

$$s_t \leq \frac{b}{3}$$

$$s_t \leq 200mm$$

donde:

*a* Menor dimensión transversal de la pieza.

*b* Mayor dimensión transversal de la pieza.

## Artículo 50º Estado Límite de Deformación

## 50.1 Consideraciones generales

El Estado Límite de Deformación se satisface si los movimientos (flechas o giros) en la estructura o elemento estructural son menores que unos valores límites máximos.

La comprobación del Estado Límite de Deformación tendrá que realizarse en los casos en que las deformaciones puedan ocasionar la puesta fuera de servicio de la construcción por razones funcionales, estéticas u otras.

El estudio de las deformaciones debe realizarse para las condiciones de servicio que correspondan, en función del problema a tratar, de acuerdo con los criterios de combinaciones expuestos en 13.3.

La deformación total producida en un elemento de hormigón es suma de diferentes deformaciones parciales que se producen a lo largo del tiempo por efecto de las cargas que se introducen, de la fluencia y retracción del hormigón y de la relajación de las armaduras activas.

## 50.2 Elementos solicitados a flexión simple o compuesta

### *50.2.1 Método general*

El procedimiento más general de cálculo de flechas consiste en un análisis estructural paso a paso en el tiempo, de acuerdo con los criterios del Artículo 25º, en el que, para cada instante, las deformaciones se obtienen mediante doble integración de las curvaturas a lo largo de la pieza.

### *50.2.2 Método simplificado*

Este método es aplicable a vigas y losas de hormigón armado. La flecha se considera compuesta por la suma de una flecha instantánea y una flecha diferida, debida a las cargas permanentes.

50.2.2.1 Cantos mínimos

No será necesaria la comprobación de flechas cuando la relación luz/canto útil del elemento estudiado sea igual o inferior a los valores indicados en la tabla 50.2.2.1.

Tabla 50.2.2.1: Relaciones *L/d* en elementos estructurales de hormigón armado sometidos a flexión simple

| SISTEMA ESTRUCTURAL | Elementos fuertemente armados ($\rho = A_s / b_0 d = 0{,}012$) | Elementos débilmente armados ($\rho = A_s / b_0 d = 0{,}004$) |
|---|---|---|
| Viga simplemente apoyada. Losa uni o bidireccional simplemente apoyada | 14 | 20 |
| Viga continua[1] en un extremo. Losa unidireccional continua[1,2] en un solo lado | 18 | 24 |
| Viga continua[1] en ambos extremos. Losa unidireccional continua[1,2] | 20 | 30 |
| Recuadros exteriores y de esquina en losa sobre apoyos aislados[3] | 16 | 22 |
| Recuadros interiores en losa sobre apoyos aislados[3] | 17 | 25 |
| Voladizo | 6 | 9 |

[1] Un extremo se considera continuo si el momento correspondiente es igual o superior al 85% del momento de empotramiento perfecto.

[2] En losas unidireccionales, las esbelteces dadas se refieren a la luz menor.

[3] En losas sobre apoyos aislados (pilares), las esbelteces dadas se refieren a la luz mayor.

La tabla 50.2.2.1 corresponde a situaciones normales de uso en edificación y para elementos armados con acero $f_{yk} = 500$ N/mm$^2$

## 50.2.2.2 Cálculo de la flecha instantánea

Para el cálculo de flechas instantáneas en elementos fisurados de sección constante, y a falta de métodos más rigurosos, se podrá usar el siguiente método simplificado:

1. Se define como momento de inercia equivalente de una sección el valor $I_e$ dado por:

$$I_e = \left(\frac{M_f}{M_a}\right)^3 I_b + \left[1 - \left(\frac{M_f}{M_a}\right)^3\right] I_f \leq I_b$$

donde:

$M_a$ Momento flector máximo aplicado a la sección hasta el instante en que se evalua la flecha.

$M_f$ Momento nominal de fisuración de la sección, que se calcula mediante la expresión:

$$M_f = f_{ct,fl} W_b$$

$f_{ct,fl}$ Resistencia a flexotracción del hormigón, que, simplificadamente, puede suponerse igual a $0{,}37 f_{ck,j}^{2/3}$ para $f_{ct,fl}$ y $f_{ck,j}$ en N/mm².

$W_b$ Módulo resistente de la sección bruta respecto a la fibra extrema en tracción.

$I_b$ Momento de inercia de la sección bruta.

$I_f$ Momento de inercia de la sección fisurada en flexión simple, que se obtiene despreciando la zona de hormigón en tracción y homogeneizando las áreas de las armaduras activas y pasivas multiplicándolas por el coeficiente de equivalencia.

2. La flecha máxima de un elemento puede obtenerse mediante las fórmulas de Resistencia de Materiales, adoptando como módulo de deformación longitudinal del hormigón el definido en 39.6 y como momento de inercia constante para toda la pieza el que corresponde a la sección de referencia que se define a continuación:

a) En elementos simplemente apoyados o tramos continuos, la sección central.
b) En elementos en voladizo, la sección de arranque.

## 50.2.2.3 Cálculo de la flecha diferida

Las flechas adicionales diferidas, producidas por cargas de larga duración, resultantes de las deformaciones por fluencia y retracción, se pueden estimar, salvo justificación más precisa, multiplicando la flecha instantánea correspondiente por el factor ?

$$? = \frac{?}{1 + 50 ? ?}$$

donde:

?' Cuantía geométrica de la armadura de compresión A´ referida al área de la sección útil, $b_0$ d, en la sección de referencia.

$$? ? = \frac{A_s ?}{b_0 d}$$

? Coeficiente función de la duración de la carga que se toma de los valores indicados seguidamente:

| | |
|---|---|
| 5 o más años | 2,0 |
| 1 año | 1,4 |
| 6 meses | 1,2 |
| 3 meses | 1,0 |
| 1 mes | 0,7 |
| 2 semanas | 0,5 |

Para edad j de carga y t de cálculo de la flecha, el valor de ? a tomar en cuenta para el cálculo de ? es $?_{(t)} - ?_{(j)}$.

En el caso de que la carga se aplique por fracciones $P_1$, $P_2$....,$P_n$, se puede adoptar como valor de ? el dado por:

$$? = (?_1 P_1 + ?_2 P_2 + ... + ?_n P_n) / (P_1 + P_2 + ... + P_n)$$

## 50.3 Elementos solicitados a torsión

El giro de las piezas o elementos lineales sometidos a torsión podrá deducirse por integración simple de los giros por unidad de longitud deducidos de la expresión:

$$? = \frac{T}{0{,}3\ E_c\ I_j}$$ para secciones no fisuradas

$$? = \frac{T}{0{,}1\ E_c\ I_j}$$ para secciones fisuradas

donde:

$T$ Torsor de servicio.
$E_c$ Módulo de deformación longitudinal secante definido en 39.6.
$I_j$ Momento de inercia a torsión de la sección bruta de hormigón.

## 50.4 Elementos solicitados a tracción pura

Las deformaciones en elementos sometidos a tracción pura pueden calcularse multiplicando el alargamiento medio unitario de las armaduras $e_{sm}$, obtenido de acuerdo con 49.2.5, por la longitud del elemento.

# Artículo 51º Estado Límite de Vibraciones

## 51.1 Consideraciones generales

Las vibraciones pueden afectar al comportamiento en servicio de las estructuras por razones funcionales. Las vibraciones pueden causar incomodidad en sus ocupantes o usuarios, pueden afectar al funcionamiento de equipos sensibles a este tipo de fenómenos, etc.

## 51.2 Comportamiento dinámico

En general, para cumplir el Estado Límite de Vibraciones debe proyectarse la estructura para que las frecuencias naturales de vibración se aparten suficientemente de ciertos valores críticos.