



Fisuración

Fisuración

¡Es inevitable la aparición de fisuras en piezas de hormigón!

- 1. En piezas pretensadas se podría llegar a tener un mayor control sobre la aparición de las fisuras.**
- 2. En piezas de hormigón armado la aparición de la fisuras es inevitable!**

Fisuración

Limitación del modelo propuesto por la normativa:

1. Fisuras debidas a la aplicación de cargas exteriores
2. Fisuras debidas a deformaciones impuestas o coacciones

Art. 7.3.1 (3): las deformaciones debidas a la retracción plástica o a las reacciones químicas no están contempladas por el modelo.

Fisuración

Otras causas de la fisuración:

1. Debidas a reacciones químicas (corrosión, sulfatos, álcali – agregado, etc.)
2. Debidas a los procesos constructivos.

Fisuración

Por qué controlar la fisuración?

- 1. Apariencia (estética, confianza en la estructura)**
- 2. Durabilidad (corrosión de las armaduras, hielo-deshielo)**
- 3. Estanqueidad (recipientes que contengan sustancias químicas)**

Fisuración

Art. 7.3.1 (5) limitación del ancho de fisura

$$w_k \leq w_{m\acute{a}x}$$

Clase de exposición	Elementos con armadura pasiva y con armaduras activas no adherentes	Elementos con armaduras activas adherentes
	Combinación de cargas cuasipermanente	Combinación de cargas frecuente
X0, XC1	0,4 ¹	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Descompresión
NOTA 1 Para clases de exposición X0, XC1, la abertura de la fisura no influye en la durabilidad y este límite se establece para proporcionar, en general, una apariencia aceptable. En ausencia de condiciones de apariencia se puede tratar este límite de modo menos estricto.		
NOTA 2 Para estas clases de exposición, además, la descompresión se debería comprobar bajo la combinación cuasipermanente de cargas.		

UNE-EN 1992-1-1. Descompresión: todas las partes de las armaduras activas y vainas adherentes estén al menos 25 mm dentro de la zona comprimida.

UNE-EN 1992-2. Descompresión: todas las partes de las armaduras activas y vainas adherentes estén al menos 100 mm dentro de la zona comprimida.

BOE-A-2021-13681, Capítulo 21: Descompresión: el borde de las vainas dentro de la zona comprimida.

Fisuración

Art. 4.2 Condiciones ambientales

Tabla 4.1. Clases de exposición.

Designación de la clase	Descripción del entorno	Ejemplos informativos donde pueden existir las clases de exposición
1. Sin riesgo de ataque por corrosión		
X0	Para hormigón sin armadura o metal embebido: todas las exposiciones salvo donde haya ataque hielo/deshielo, abrasión o ataque químico Para hormigón con armadura o metal embebido: muy seco	Hormigón dentro de edificios con un nivel de humedad ambiental muy bajo
2. Corrosión inducida por carbonatación		
XC1	Seco o permanentemente húmedo	Hormigón dentro de edificios con nivel de humedad ambiental muy bajo. Hormigón permanentemente sumergido en agua
XC2	Húmedo, raramente seco	Superficies de hormigón sometidas al contacto con agua un periodo de largo tiempo. Muchas cimentaciones
XC3	Humedad moderada	Hormigón dentro de edificios con humedad ambiental moderada o elevada Hormigón en el exterior, protegido de la lluvia
XC4	Sequedad y humedad cíclicas	Superficies de hormigón sometidas al contacto con agua, no incluidas en la clase de exposición XC2
3. Corrosión inducida por cloruros		
XD1	Humedad moderada	Superficies del hormigón expuestas a cloruros en la atmósfera
XD2	Húmedo, raramente seco	Piscinas Componentes de hormigón expuestos a aguas industriales que contienen cloruros
XD3	Sequedad y humedad cíclicas	Partes de puentes expuestos al riego conteniendo cloruros Pavimentos Losas en aparcamientos de coches

Fisuración

Art. 4.2 Condiciones ambientales

Tabla 4.1. Clases de exposición, continuación.

4. Corrosión inducida por cloruros de agua marina		
XS1	Exposición al aire saturado de sal pero no en contacto directo con el agua del mar	Estructuras cerca de o en la costa
XS2	Permanentemente sumergida	Partes de estructuras marinas
XS3	Zonas de mareas, salpicaduras y aspersiones	Partes de estructuras marinas
5. Ataque hielo/deshielo		
XF1	Moderada saturación de agua, sin productos de deshielo	Superficies verticales de hormigón expuestas a lluvia y hielo
XF2	Moderada saturación de agua, con productos de deshielo	Superficies verticales de hormigón de estructuras de carretera expuestas a congelación y al ambiente de productos de deshielo
XF3	Alta saturación de agua, sin los productos de deshielo	Superficies horizontales de hormigón expuestas a lluvia y hielo
XF4	Alta saturación de agua con productos de deshielo o agua del mar	Plataformas de carretera y tableros de puente expuestos a productos de deshielo. Superficies de hormigón expuestas directamente a la aspersión conteniendo productos de deshielo
6. Ataque químico		
XA1	Ambiente de una débil agresividad química conforme a la tabla 2 de la Norma EN 206-1	Terrenos naturales y aguas subterráneas
XA2	Ambiente de una moderada agresividad química conforme a la tabla 2 de la Norma EN 206-1	Terrenos naturales y aguas subterráneas
XA3	Ambiente de una alta agresividad química conforme a la tabla 2 de la Norma EN 206-1	Terrenos naturales y aguas subterráneas

Fisuración

Art. 7.3.2 Áreas mínimas de armaduras

(1) Si es necesario controlar la fisuración debe colocarse una cantidad mínima de armadura adherente. Puede estimarse equilibrando la fuerza a tracción en el hormigón justo antes de la fisuración y la fuerza a tracción de la armadura.

(4) En elementos pretensados no se requiere armadura mínima en secciones donde, bajo la combinación característica de cargas y el valor característico del pretensado el hormigón se encuentre comprimido o el valor de la tensión de tracción sea inferior a $\sigma_{ct,p} = f_{ct,eff}$.

Fisuración

Art. 7.3.2 Áreas mínimas de armaduras

(2) Salvo justificación mediante un cálculo riguroso, el área mínima de armadura se obtiene mediante la siguiente ecuación. Las armaduras mínimas deben determinarse para cada parte de la sección por separado (alas y almas):

k_c : tiene en cuenta la distribución de tensiones en la sección.

$$f_{ct,eff} = f_{ctm}(t)$$

A_{ct} : área de hormigón dentro de la zona de tracción.

$$A_{s,min} = k_c \times k \times f_{ct,eff} \times A_{ct} \times (\sigma_s)^{-1}$$

k : tiene en cuenta el efecto de las tensiones no uniformes auto equilibradas (tensiones debidas a la retracción diferencial).

σ_s : tensión máxima permitida en la armadura inmediatamente después de la formación de la fisura.

Fisuración

Art. 7.3.2 Áreas mínimas de armaduras

(3) Para secciones transversales que contienen tendones adheridos en la zona de tracción, se puede suponer que los tendones adheridos contribuyen al control de la fisuración hasta una distancia de 150 mm desde el centro de la armadura activa. Las áreas mínimas de armadura dentro de esta área se obtienen de la siguiente modificación:

ξ_1 : relación ajustada de la resistencia de adherencia.

$$A_{s,min} \times \sigma_s + \xi_1 \times A'_p \times \Delta\sigma_p = k_c \times k \times f_{ct,eff} \times A_{ct}$$

A'_p : área de armaduras activas adherentes dentro $A_{c,eff}$.

$\Delta\sigma_p$: variación de las tensiones en las armaduras activas a partir del estado de deformación cero del hormigón al mismo nivel.

Fisuración

Art. 7.3.2 Áreas mínimas de armaduras

k_c : tiene en cuenta la distribución de tensiones en la sección inmediatamente antes de la fisuración y el cambio del brazo mecánico.

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{Tracción pura} \\ 0.4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \left(\frac{h}{h^*} \right) f_{ct,eff}} \right] \leq 1 & \text{Para secciones rectangulares y almas de secciones cajón y secciones en T sometidas a flexión pura o flexión compuesta.} \\ 0.9 \left[\frac{F_{cr}}{A_{ct} f_{ct,eff}} \right] \geq 0.5 & \text{Para alas de secciones cajón y secciones en T sometidas a flexión pura o flexión compuesta.} \end{cases}$$

σ_c : tensión media del hormigón que actúa en la parte de la sección considerada.

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{bh}$$

k_1 : considera los efectos de las fuerzas axiales en la distribución de tensiones.

N_{Ed} : es la fuerza axial en ELS que actúa en la parte de la sección considerada, incluyendo el efecto del pretensado (compresiones positivas).

Fisuración

Art. 7.3.2 Áreas mínimas de armaduras

F_{cr} : es el valor absoluto de la fuerza de tracción en el ala inmediatamente antes de producirse la fisuración (utilizando $f_{ct,eff}$ para calcular el momento de fisuración en la sección).

A'_p : es el área de los tendones adherentes dentro del área $A_{c,eff}$.

$A_{c,eff}$: es el área eficaz de hormigón en tracción que rodea a la armadura pasiva y activa de altura $h_{c,ef}$,

$$h_{c,ef} = \min \begin{cases} 2.5(h - d) \\ (h - x)/3 \\ h/2 \end{cases}$$

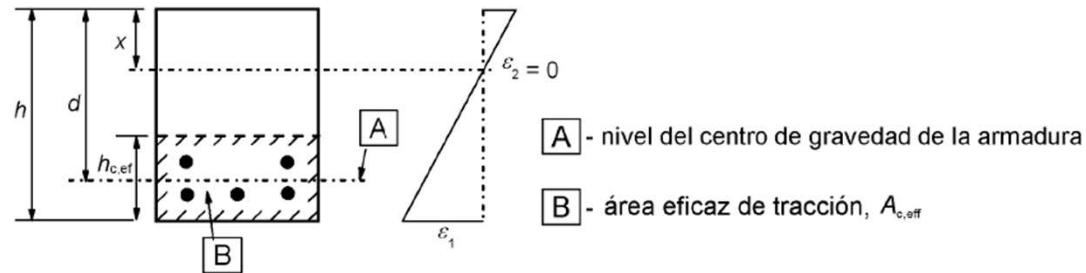
$\Delta\sigma_p$: es la variación en la tensión de las armaduras activas a partir del estado de deformación cero del hormigón situado al mismo nivel.

ξ_1 : es la relación ajustada de la resistencia de adherencia (o capacidad de adherencia) de la armadura activa adherente y el hormigón,

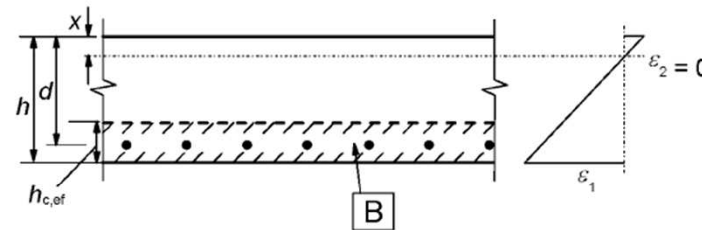
$$\xi_1 = \sqrt{\xi \frac{\phi_s}{\phi_p}}$$

Fisuración

Art. 7.3.2 Áreas mínimas de armaduras

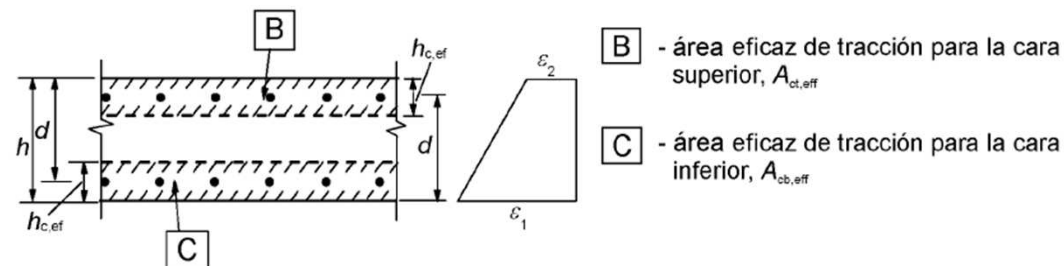


a) Viga



B - área eficaz de tracción, $A_{c,eff}$

b) Losa



c) Elemento en tracción

Fisuración

Art. 7.3.2 Áreas mínimas de armaduras

Armadura activa	ξ		
	pretesa	adherente, postesa	
		< C50/60	\geq C70/85
barras y alambres lisos	No aplicable	0,3	0,15
cordones	0,6	0,5	0,25
alambres grafilados	0,7	0,6	0,3
barras corrugadas	0,8	0,7	0,35

NOTA Se puede interpolar para obtener los valores intermedios entre C50/60 y C70/85.

$\phi_p = 1,6 \sqrt{A_p}$ para grupos de barras;

$\phi_p = 1,75 \phi_{wire}$ para cordones de 7 alambres, donde ϕ_{wire} es el diámetro del alambre;

$\phi_p = 1,20 \phi_{wire}$ para cordones de 3 alambres, donde ϕ_{wire} es el diámetro del alambre.