

LECCIÓN 11

ESTADO LÍMITE DE SERVICIO DE

FISURACIÓN

(Art. 49 EHE-08)

1. FINALIDAD DEL ESTUDIO DE LA FISURACIÓN
2. ESTADO LÍMITE DE FISURACIÓN
3. CÁLCULO DE LA ABERTURA DE FISURA
4. CÁLCULO DE SECCIÓN FISURADA DE HORMIGÓN ARMADO
5. LIMITACIÓN DE LA FISURACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE Y TORSIÓN
6. COMPROBACIÓN DEL ELS DE FISURACIÓN

1. FINALIDAD DEL ESTUDIO DE LA FISURACIÓN

Hemos de controlar la fisuración por 3 motivos:

- *Durabilidad* (agresiones ambientales a las armaduras)
- *Funcionalidad o estanquidad* (p.ej. fugas de agua en un tanque)
- *Apariencia* (alarma social)

2. ESTADO LÍMITE DE FISURACIÓN

Exigencia de aptitud al servicio (art. 5.1.1.2): En ausencia de requisitos adicionales específicos (estanqueidad, etc.), las aberturas características de fisura no serán superiores a las máximas aberturas de fisura (W_{\max}) de la tabla

CLASE DE EXPOSICIÓN	ABERTURA MÁXIMA DE FISURA W_{\max} (mm)	
	Hormigón armado (combinación cuasipermanente)	Hormigón pretensado (combinación frecuente)
I	0,4	0,2
IIa, IIb, H	0,3	0,2
IIIa, IIIb, IV, F, Qa	0,2	Descompresión
IIIc, Qb, Qc	0,1	

Nota: La limitación de la clase Q se aplica si el ataque químico afecta a la armadura, si no, se aplica la limitación de la clase general correspondiente

3. CÁLCULO DE LA ABERTURA DE FISURA

$$W_k = \beta S_m \varepsilon_{sm}$$

β Coef. para usar el valor característ. de W en vez de su valor medio
 = 1,3 sólo acciones indirectas (reológicas, térmicas, descenso apoyos)
 = 1,7 resto (acc. directas ó acc. directas + indirectas), -mayor dispersión-

S_m Separación media de fisuras en mm

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

En piezas hormigonadas contra el terreno puede adoptarse, para el cálculo del ancho de fisura, el recubrimiento nominal correspondiente a la clase de exposición de acuerdo con las tablas 37.2.4.1 (y no $r_{min} = 70$ mm)

* INVESTIGACIONES EN LA E.T.S.A. DE LA U.P.V.

Acciones directas + indirectas

- Vigas $10 \times 20 \times 450$ cm
- Expuestas en todo su perímetro
- Carga aplicada de servicio
- Humedad relativa media del 65 %

	EHE-98	Experimental
W_k (mm)	0,249	0,340

$$\text{RETRACCIÓN} \Rightarrow \Delta W_k = 37 \%$$

$$W_k = (1,7\varepsilon_{sm} + 1,3\varepsilon_{cr})S_m \quad \text{siendo } \varepsilon_{cr} \text{ la retracción libre}$$

• FÓRMULA EXPERIMENTAL DE S_m

$$S_m = 2c + 0,2s + 0,4k_1 \frac{\varnothing A_{c,eficaz}}{A_s}$$

c Recubrimiento geométrico de las armaduras traccionadas

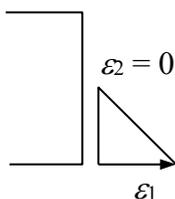
s Distancia entra barras longitudinales, con $s \leq 15\varnothing$

En vigas con n barras, simplificadaamente: $s = b/n$

k_1 Coef. que depende de la distribución tensional $k_1 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{8\varepsilon_1}$

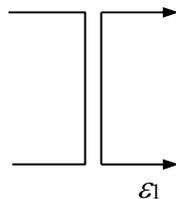
ε_1 y ε_2 son las deformaciones máx. y mín. calculadas en secc. fisurada

Flexión Simple



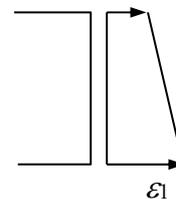
$$k_1 = 0,125$$

Tracción Simple



$$k_1 = 0,250$$

Tracción Compuesta



$$0,125 < k_1 < 0,250$$

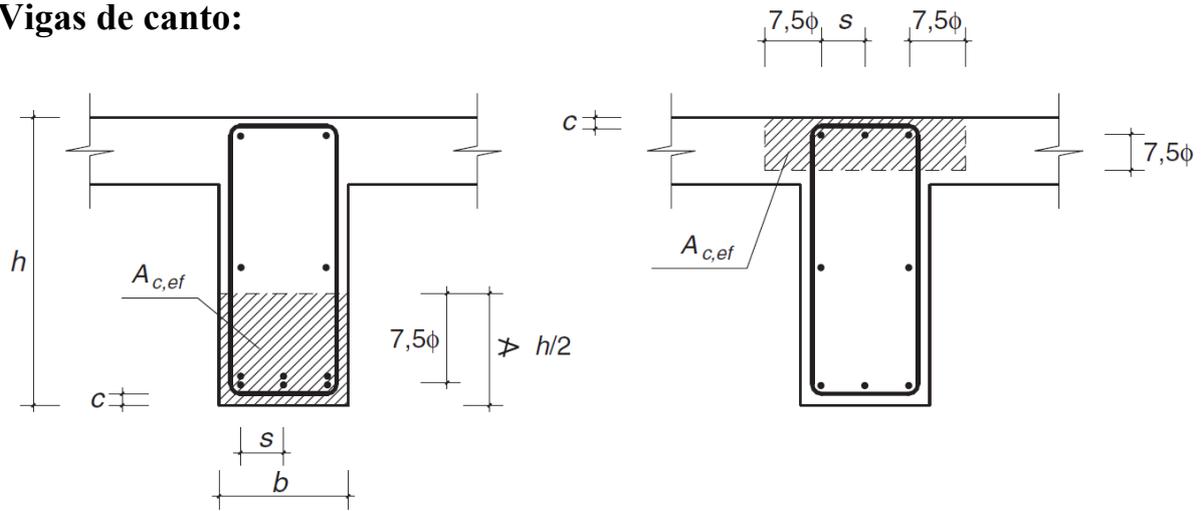
\varnothing Diámetro barra traccionada más gruesa (o diámetro equivalente en el caso de grupo de barras)

$A_{c,eficaz}$ Área de hormigón de la zona de recubrimiento, 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 $A_{c,eficaz}$

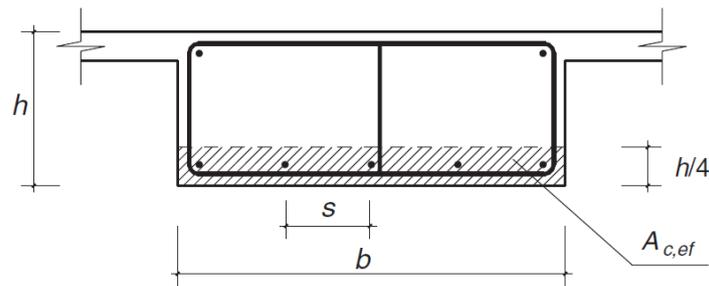
Definición geométrica de $A_{c,eficaz}$

Vigas de canto:



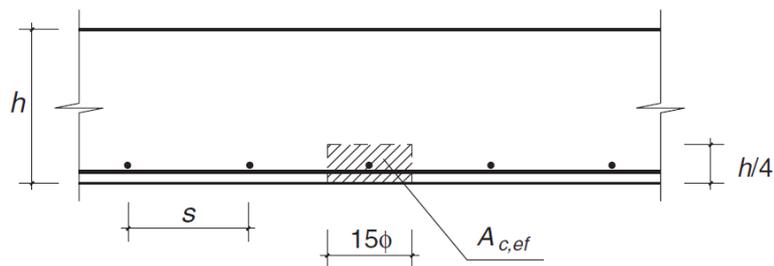
CASO 1
VIGAS CON $s \leq 15\phi$

Vigas planas:



CASO 2
VIGAS CON $s \leq 15\phi$

Losas:



CASO 3
VIGAS PLANAS, MUROS, LOSAS CON $s > 15\phi$

Fuente: EHE-08, 2011

• **FÓRMULA EXPERIMENTAL DE ε_{sm}**

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - k_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] \geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

σ_s Tensión de servicio de la armadura en hipótesis de sección fisurada

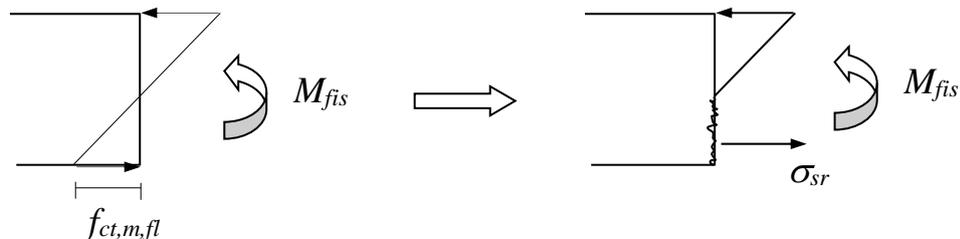
Cálculo simplificado (anexo 8, EHE-98):

$$\sigma_s = \frac{M_k}{0,8dA_s} \quad \begin{array}{l} M_k \text{ Momento de servicio} \\ d \text{ Canto útil} \end{array}$$

E_s Módulo de deformación longitudinal del acero

$k_2 = 1,0$ (carga instantánea no repetida –pruebas de carga, ensayos de laborat.-)
 $= 0,5$ (resto)

σ_{sr} Tensión de la armadura en hipótesis de sección fisurada en el instante en que se fisura el hormigón bajo una tensión $f_{ct,m,fl}$



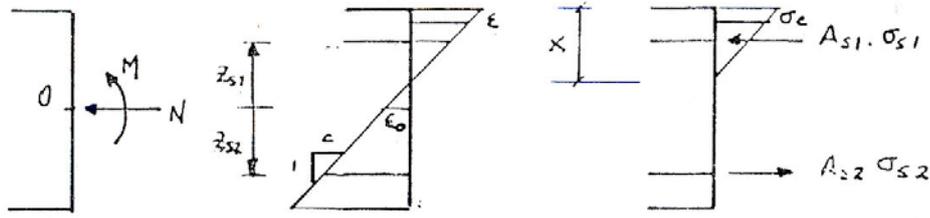
Cálculo simplificado (anexo 8, EHE-98): $\sigma_{sr} = \frac{M_{fis}}{0,8dA_s}$

Para secc. rectangular: $M_{fis} = f_{ct,m,fl} \frac{bh^2}{6} \Rightarrow \sigma_{sr} = \frac{f_{ct,m,fl}bh^2}{4,8dA_s}$

$f_{ct,m,fl} = \max[(1,6 - h/1000)f_{ct,m}; f_{ct,m}]$ con $f_{ct,m} = 0,30\sqrt[3]{f_{ck}^2}$ para $f_{ck} \leq 50$ MPa
 $f_{ct,m} = 0,58\sqrt{f_{ck}}$ para $f_{ck} > 50$ MPa

4. CÁLCULO DE SECCIÓN FISURADA H.A.

Procedimiento general:



Equilibrio

$$N = \int_{v_1-x}^{v_1} \sigma_c b dz + \sum A_{si} \sigma_{si}$$

$$M = \int_{v_1-x}^{v_1} \sigma_c b z dz + \sum A_{si} \sigma_{si} z_{si}$$

Materiales

$$\sigma_c = E_c (\epsilon_0 + c \cdot z) \quad (v_1-x < z < v_1)$$

$$\sigma_{si} = E_s (\epsilon_0 + c \cdot z_{si})$$

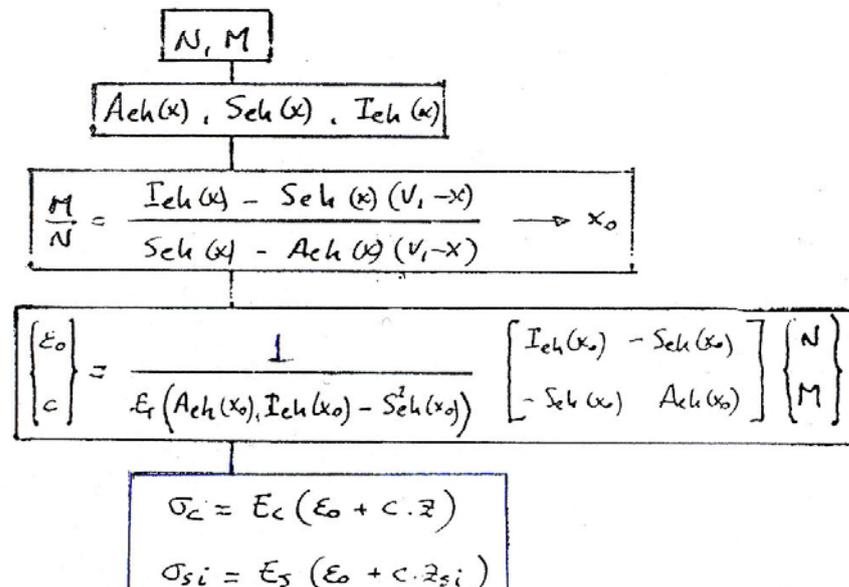
Sistema de ecuaciones

$$N = E_r \left[\epsilon_0 \underbrace{\left(\frac{E_c}{E_r} A_{eh}(x) + \frac{E_s}{E_r} \sum A_{si} \right)}_{A_{eh}(x)} + c \underbrace{\left(\frac{E_c}{E_r} S_{eh}(x) + \frac{E_s}{E_r} \sum A_{si} z_{si} \right)}_{S_{eh}(x)} \right]$$

$$M = E_r \left[\epsilon_0 \underbrace{\left(\frac{E_c}{E_r} S_{eh}(x) + \frac{E_s}{E_r} \sum A_{si} z_{si} \right)}_{S_{eh}(x)} + c \underbrace{\left(\frac{E_c}{E_r} I_{eh}(x) + \frac{E_s}{E_r} \sum A_{si} z_{si}^2 \right)}_{I_{eh}(x)} \right]$$

$$0 = \epsilon_0 + c (v_1 - x)$$

Resolución



Fuente: Miguel y Fernández, 1995

Procedimiento sección rectangular, flex. simple (anejo 8 EHE-08):

Para sección rectangular, los valores de los parámetros que definen el comportamiento seccional (figura A.8.1) son:

- Profundidad relativa de la fibra neutra

$$\frac{X}{d} = n \rho_1 \left(1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \left(1 + \frac{\rho_2 d'}{\rho_1 d} \right)}{n \rho_1 \left(1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^2}} \right)$$

$$\text{si } \rho_2 = 0 \Rightarrow \frac{X}{d} = n \rho_1 \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n \rho_1}} \right)$$

- Inercia fisurada

$$I_f = n A_{s1} (d - X) \left(d - \frac{X}{3} \right) + n A_{s2} (X - d') \left(\frac{X}{3} - d' \right)$$

donde:

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{bd}$$

$$\rho_2 = \frac{A_{s2}}{bd}$$

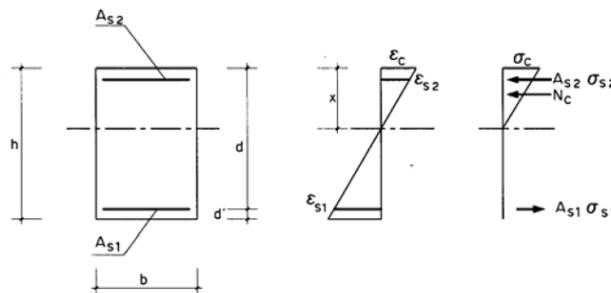


Figura A.8.1

La curvatura y las tensiones en el hormigón y en las distintas fibras de acero se obtienen con las expresiones siguientes:

- Curvatura

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{E_c I_f}$$

- Tensión de compresión en la fibra más comprimida de hormigón

$$\sigma_c = \frac{M X}{I_f}$$

- Tensión en las armaduras

$$\sigma_{s1} = n \sigma_c \frac{d - X}{X}$$

$$\sigma_{s2} = -n \sigma_c \frac{X - d'}{X}$$

5. LIMITACIÓN DE LA FISURACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE Y TORSIÓN

Si se cumplen las indicaciones del Art. 44 (ELU frente a Cortante) y/o del Art. 45 (ELU de Agotamiento por torsión en elementos lineales), el control de la fisuración en servicio está asegurado sin comprobaciones adicionales

6. COMPROBACIÓN DEL ELS DE FISURACIÓN

• FISURACIÓN POR SOLICITACIONES NORMALES

*** POR COMPRESIÓN** (bajo combinación **poco probable**)

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

*** POR TRACCIÓN** (bajo combinación **cuasipermanente**)

- Establecer $W_{\max} = 0,1 - 0,2 - 0,3 \text{ ó } 0,4$ (función del ambte.)

- Calcular $W_k = \beta S_m \varepsilon_{sm}$

- Comprobar $W_k \leq W_{\max}$

Si $W_k > W_{\max} \Rightarrow$ Modificar W_k (\uparrow Cantidad de armadura)

• FISURACIÓN POR SOLICITACIONES TANGENCIALES

Cumplir las indicaciones de los Art. 44 y/o 45