

Asunto: fallo por fisuración

El fallo por fisuración considera las fisuras que pueden producirse, tanto entre anclajes, como entre anclajes y borde y entre el final del anclaje y la parte inferior de la losa.

En este caso, a mayor empotramiento, mayor influencia de la fisuración por la parte inferior del hormigón y más influencia del borde en la resistencia de los anclajes. Es decir, para empotramientos mayores se requeriría una mayor distancia a borde para que dicho borde no afecte negativamente. Lo mismo ocurrirá con la separación entre anclajes. Del mismo modo, a más empotramiento menos hormigón queda entre la punta del anclaje y el límite inferior del hormigón.

Para comprobar eso matemáticamente, las claves estarían en los siguientes puntos:

3.4 Fallo por fisuración (Splitting)

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}} \quad \text{EN 1992-4, Tabla 7.1}$$

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,sp}^0 \cdot \frac{A_{cN}}{A_{cN}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{h,sp} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.23)}$$

$$N_{Rk,sp}^0 = \min(N_{Rk,p}^0, N_{Rk,c}^0) \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.3)}$$

$$\frac{A_{cN}}{A_{cN}^0} = s_{cr,sp} \cdot s_{cr,sp}^0 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{s_{cr,sp}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot \theta_{N1}}{s_{cr,sp}}\right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot \theta_{N2}}{s_{cr,sp}}\right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{h,sp} = \left(\frac{h}{h_{min}}\right)^{2/3} \leq \max\left\{1; \left(\frac{h_{ef} + 1,5 \cdot c}{h_{min}}\right)^{2/3}\right\} \leq 2,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.24)}$$

- Distancia crítica a borde de hormigón, $c_{cr,sp}$: cuanto más profundo un anclaje, más distancia tienen que existir a borde de hormigón para que este no afecte a los anclajes negativamente.

Concrete cone failure		
Factor for uncracked concrete	$k_{ucr,N}$ [-]	11,0
Factor for cracked concrete	$k_{cr,N}$ [-]	7,7
Edge distance	$c_{cr,N}$ [mm]	$1,5 \cdot h_{ef}$
Spacing	$s_{cr,N}$ [mm]	$3,0 \cdot h_{ef}$
Splitting failure		
Edge distance $c_{cr,sp}$ [mm] for	$h / h_{ef} \geq 2,0$	$1,0 \cdot h_{ef}$
	$2,0 > h / h_{ef} > 1,3$	$4,6 \cdot h_{ef} - 1,8 \cdot h$
	$h / h_{ef} \leq 1,3$	$2,26 \cdot h_{ef}$
Spacing	$s_{cr,sp}$ [mm]	$2 \cdot c_{cr,sp}$

- Al modificarse el parámetro anterior, las áreas que puede movilizar un anclaje, A_{cN}^0 , si no existieran bordes y el área que puede movilizar el conjunto de todos los anclajes (considerando influencia entre ellos y el borde), A_{cN} , varía. Es decir, para empotramientos mayores, esas áreas son mayores pero su cociente (que es lo que considera la fórmula) varía en gran medida porque, con empotramiento superior, hay una influencia superior entre los anclajes de un mismo grupo, reduciéndose en gran medida ese coeficiente (para el caso de empotramiento de 200 mm, el cociente sería de 1.701 y para empotramiento de 250 mm, el cociente es de 0.977).
- La resistencia de partida, que depende de la resistencia frente a cono y extracción, es superior en el caso de empotramiento de 250 mm, pero para obtener la resistencia a splitting hay que multiplicarla por el cociente definido en el punto anterior que considera

la influencia entre anclajes. Al ser la influencia entre anclajes muy superior en el caso de empotramiento de 250 mm, la resistencia frente a splitting decae.

- Del mismo modo los coeficientes se van a ver modificados por la variación del valor de $C_{cr,sp}$:
 - $\psi_{s,N}$ tiene en cuenta la influencia del borde y esta influencia es significativamente menor para un menor empotramiento.
 - $\psi_{ec,N}$ se ve modificado ligeramente, al depender de distancia crítica entre anclajes y variar esta, en función de los empotramientos
 - $\psi_{h,sp}$ tienen en cuenta el espesor del hormigón y la posibilidad de que se produzca fisuración entre el final del anclaje y límite inferior del hormigón. Puede observarse que, a más empotramiento, menor resistencia tendremos porque se puede fisurar antes en esta zona.
 - Los valores de cálculo para este caso concreto quedarían así (se han marcado los factores que tienen mayor influencia en este caso):

Empotramiento	250 mm	200 mm
$N_{K,sp}^0$	154,199	123,359
$A_{c,n}/A_{c,N}^0$	0,978	1,717
$\psi_{s,N}$	0,735	0,775
$\psi_{re,N}$	1,000	1,000
$\psi_{ec1,N}$	0,878	0,771
$\psi_{ec2,N}$	0,990	0,978
$\psi_{h,sp}$	1,079	1,095
$N_{Rk,sp}$	103,955	135,540
$N_{Rd,sp}$	69,303	90,360

Resultados de PROFIS Engineering:

- Empotramiento de 200 mm:

3.4 Fallo por fisuración (Splitting)

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{M,sp}} \quad \text{EN 1992-4, Tabla 7.1}$$

$$N_{Rk,sp} = N_{K,sp}^0 \cdot \frac{A_{c,n}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{h,sp} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.23)}$$

$$N_{K,sp}^0 = \min(N_{K,sp}^0, N_{K,c}^0) \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.3)}$$

$$A_{c,N}^0 = S_{cr,sp} \cdot S_{sp,sp} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{C_{cr,sp}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{e_{s1,N}}{S_{sp,sp}}\right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{s2,N}}{S_{sp,sp}}\right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{h,sp} = \left(\frac{h}{h_{min}}\right)^{2/3} \leq \max\left\{1; \left(\frac{h_{ef} + 1,5 \cdot c_1}{h_{min}}\right)^{2/3}\right\} \leq 2,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.24)}$$

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$C_{cr,sp}$ [mm]	$S_{cr,sp}$ [mm]	h_{min} [mm]	$\psi_{s,sp}$	$f_{s,cr}$ [N/mm ²]
274.700	160.000	200,0	400,0	240,0	1,095	25,00
$e_{s1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{s2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{h,N}$	$\psi_{re,N}$	k_1
59,5	0,771	4,4	0,979	0,775	1,000	11,000
$N_{K,sp}^0$ [kN]	$\gamma_{M,sp}$	$N_{Rd,sp}$ [kN]	N_{Ed} [kN]			
123,359	1,500	90,362	76,719			

ID grupo de anclajes
1-6

- Empotramiento de 250 mm:

3.4 Fallo por fisuración (Splitting)

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = \frac{N_{Rk,sp}}{\gamma_{Msp}} \quad \text{EN 1992-4, Tabla 7.1}$$

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,sp}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec1,N} \cdot \psi_{ec2,N} \cdot \psi_{h,sp} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.23)}$$

$$N_{Rk,sp}^0 = \min(N_{Rk,sp}^1, N_{Rk,sp}^2) \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.3)}$$

$$A_{c,N}^0 = S_{cr,sp} \cdot S_{cr,sp} \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,sp}} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.4)}$$

$$\psi_{ec1,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c1,N}}{S_{cr,sp}}\right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{ec2,N} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot e_{c2,N}}{S_{cr,sp}}\right)} \leq 1,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.6)}$$

$$\psi_{h,sp} = \left(\frac{h}{h_{min}}\right)^{2/3} \leq \max\left\{1; \left(\frac{h_{ef} + 1,5 \cdot c_1}{h_{min}}\right)^{2/3}\right\} \leq 2,00 \quad \text{EN 1992-4, Eq. (7.24)}$$

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,sp}$ [mm]	$s_{cr,sp}$ [mm]	h_{min} [mm]	$\psi_{h,sp}$	$f_{ct,sp}$ [N/mm ²]
723,200	739,600	430,0	860,0	290,0	1,079	25,00
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	k_1
59,5	0,878	4,4	0,990	0,735	1,000	11,000
$N_{Rk,sp}^0$ [kN]	γ_{Msp}	$N_{Rd,sp}$ [kN]	N_{Ed} [kN]			
154,199	1,500	69,300	76,719			

ID grupo de anclajes
1-6

Para cualquier aclaración no dude en contactar con nosotros.

Reciba un cordial saludo.

OFICINA TÉCNICA
HILTI ESPAÑOLA S.A.