



Abertura de Fissuras

Tutorial SectionPro — Abertura de fissura w_k e espaçamento máximo $s_{r, \max}$ no estado limite de serviço conforme o Eurocode 2

BridgeKernel · 2026

Introdução

O concreto armado fissa sob cargas de serviço. As fissuras não comprometem a segurança, mas aberturas excessivas expõem a armadura à água, cloretos e CO_2 , causando corrosão. As normas limitam portanto w_k no ELS.

O SectionPro aplica o cálculo direto do Eurocode 2. A abertura de fissura é o produto do espaçamento máximo e da deformação diferencial média aço-concreto:

$$w_k = s_{r, \max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

O espaçamento depende do cobrimento c , do diâmetro φ_s , do fator de aderência k_1 e da taxa de armadura efetiva $\rho_{p, \text{eff}}$:

$$s_{r, \max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varphi_s}{\rho_{p, \text{eff}}}$$

A deformação diferencial média inclui o tension stiffening (o concreto entre fissuras absorve parte da tração):

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct, \text{eff}}}{\rho_{p, \text{eff}}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p, \text{eff}})}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

A altura efetiva da zona tracionada $h_{c, \text{eff}}$ é calculada automaticamente: $h_{c, \text{eff}} = \min(2.5(h - d), (h - x)/3, h/2)$.

Resultados calculados

O SectionPro fornece para cada análise de fissuração:

Resultados por caso

w_k : abertura de fissura
 $s_{r, \max}$: espaçamento máximo
 σ_s : tensão no aço

Valores intermediários

$h_{c, \text{eff}}$, $A_{c, \text{eff}}$, $A_{s, \text{eff}}$, $\rho_{p, \text{eff}}$
 k_2 , φ_s , $\Delta\varepsilon$
 d , x , c

Exportações

PDF, Excel (.xlsx), Texto
Combinações desfavoráveis, valores intermediários

Laje retangular

Dados de entrada

Concreto

- Seção transversal retangular
- Largura $b = 1.00$ m
- Altura $h = 0.30$ m

Armadura

- 14 barras $\varnothing 14$ ($\varphi_s = 14$ mm)
- 7 inferior + 7 superior, espaçamento 157 mm
- Cobrimento 30 mm, 1 camada por face
- $A_s = 14 \times 1.539 = 21.55$ cm²

Leis de material (EC2)

- Concreto C30/37: $f_{ck} = 30$ MPa
- Aço B500B: $f_{yk} = 500$ MPa

Figura 1: Laje retangular.

Resultados

A abertura de fissura é avaliada para dois estados de solicitação: flexão pura e tração predominante. Os parâmetros de fissuração são mantidos nos valores recomendados: $k_t = 0.6$ (longo prazo), $k_1 = 0.8$ (barras de alta aderência), $k_3 = 3.4$, $k_4 = 0.425$, $f_{ct,eff} = 3.2$ MPa.

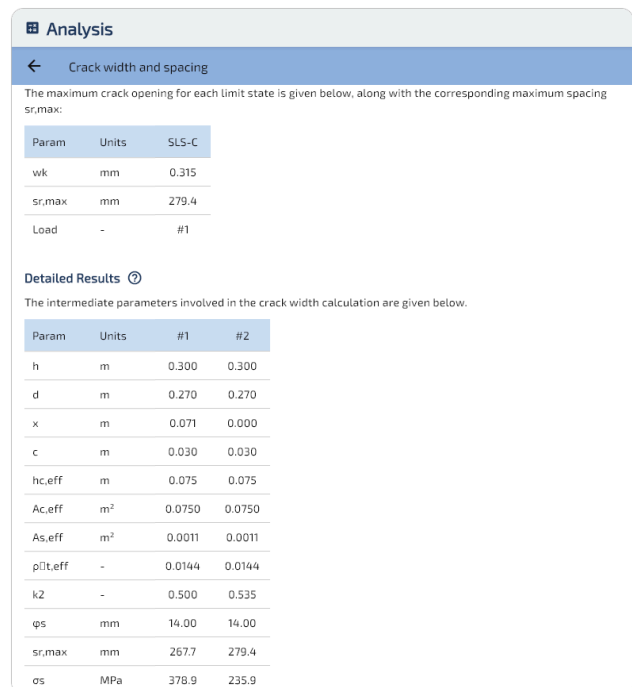
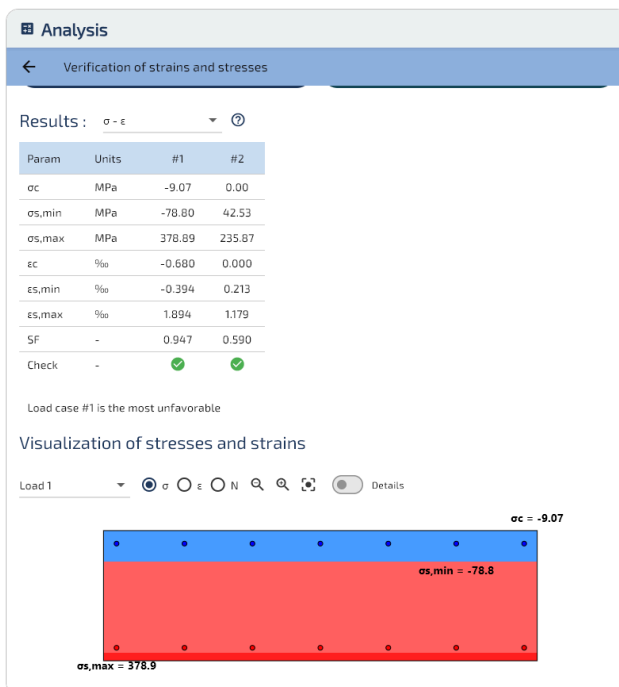


Figura 2: Laje: estado tensão-deformação (esq.) e tabela de resultados (dir.).

Em flexão pura ($M_z = 100$ kN·m), a linha neutra situa-se em $x = 71$ mm, deixando $h - x = 229$ mm da seção tracionada. Com $k_2 = 0.5$, a fórmula de espaçamento fornece $s_{r,max} = 267.7$ mm. A abertura $w_k = 0.315$ mm ultrapassa o limite usual de 0,3 mm: uma laje mais espessa ou barras mais próximas seriam necessárias na prática.

Em tração ($N = -300 \text{ kN}$, $M_z = 25 \text{ kN} \cdot \text{m}$), toda a seção está fissurada ($x = 0$). Apesar da fissuração total, $w_k = 0.198 \text{ mm}$ é inferior à flexão, pois as 14 barras dividem o esforço, reduzindo σ_s de 379 para 236 MPa. O fator $k_2 = 0.535$ reflete a distribuição de deformação ligeiramente não uniforme causada pelo momento fletor residual.

Viga I: flexão pura

Dados de entrada

Concreto

- Seção transversal em I com mísulas
- Mesa inferior: $b = 0.75 \text{ m}$
- Alma: $b_w = 0.25 \text{ m}$
- Mesa superior: $b_f = 1.60 \text{ m}$
- Altura total $h = 1.80 \text{ m}$

Armadura (aço passivo apenas)

- 70 barras no total (HA16 + HA20)
- 6 HA20 como armadura inferior
- 64 HA16 distribuídas ao longo do contorno

Leis de material (EC2)

- Concreto C30/37: $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
- Aço B500B: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

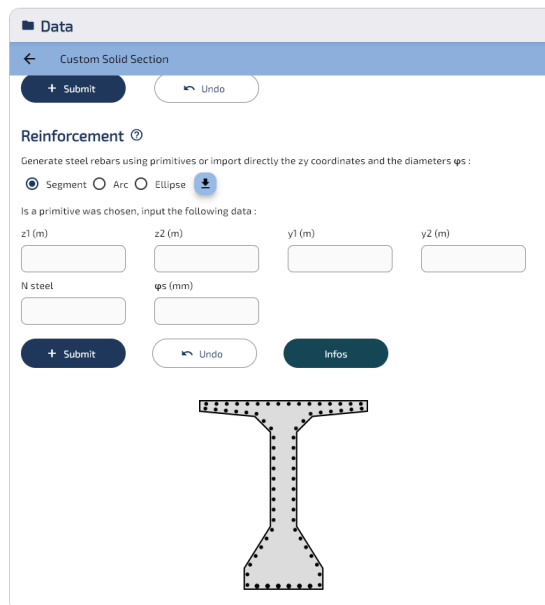


Figura 3: Viga I.

Resultados

A viga I é solicitada em flexão pura em três níveis crescentes de momento ($M_z = 1000, 2000$ e $2500 \text{ kN} \cdot \text{m}$). Parâmetros de fissuração: $k_t = 0.6$, $k_1 = 0.8$, $k_3 = 3.4$, $k_4 = 0.425$, $f_{ct,eff} = 2.9 \text{ MPa}$.

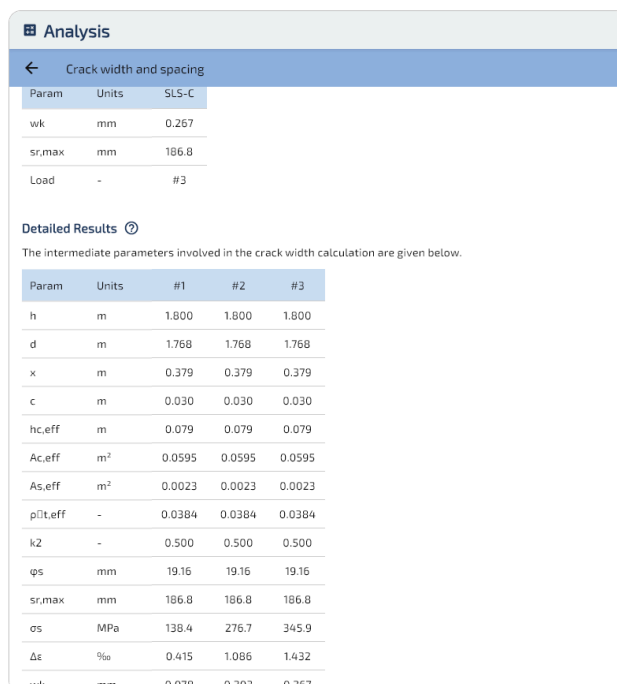
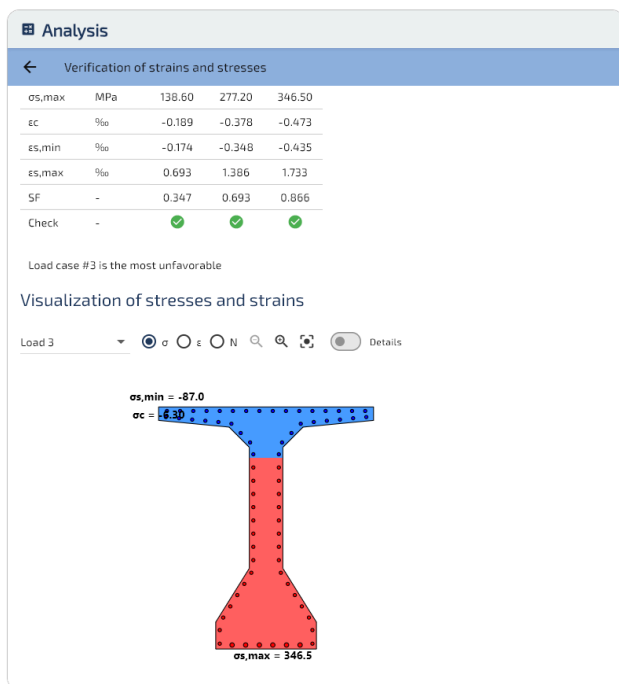


Figura 4: Viga I: estado tensão-deformação (esq.) e tabela de resultados (dir.).

A abertura de fissura cresce com o momento aplicado: $w_k = 0.078$ mm para $M_z = 1000$ kN · m, 0.203 mm para 2000 kN · m e 0.267 mm para 2500 kN · m, todos abaixo do limite de 0,3 mm. O espaçamento $s_{r, \max} = 186.8$ mm permanece constante em todos os níveis de carga, pois depende apenas da geometria e da disposição da armadura.

Benchmark

O cálculo de abertura de fissura é instantâneo: menos de 10 ms para projetos típicos (até 1 000 casos ELS) e inferior a meio segundo mesmo para 100 000 casos.

Exportação

O SectionPro exporta a análise de fissuração em três formatos: **PDF**, **texto** (colunas de largura fixa) e **Excel** (.xlsx). Os dados exportados incluem todos os resultados por caso de carga (w_k , $s_{r, \max}$, σ_s , $h_{c, \text{eff}}$, $\rho_{p, \text{eff}}$, etc.) ordenados por w_k decrescente.

Crack width and spacing				
GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE ON : 2026-05-21 17:33				
Main results				
Param	Units	SLS-C		
wk	mm	0.267		
sr,max	mm	186.8		
Load	-	#3		

Below are the crack openings wk and their maximum spacing sr,max for the most unfavorable loads of each limit state. The obtained values can then be compared with the limits prescribed by the normative context.

Detailed Results				
Below are the intermediate parameters involved in the EN-1992 calculation methodology:				
Param	Units	#3	#2	#1
h	m	1.800	1.800	1.800
d	m	1.768	1.768	1.768
x	m	0.379	0.379	0.379
c	m	0.030	0.030	0.030
hc,eff	m	0.079	0.079	0.079
Ac,eff	m ²	0.0595	0.0595	0.0595
As,eff	m ²	0.0023	0.0023	0.0023
pt,eff	-	0.0384	0.0384	0.0384
k2	-	0.500	0.500	0.500
φs	mm	19.16	19.16	19.16
sr,max	mm	186.8	186.8	186.8
σs	MPa	345.9	276.7	138.4
Δε	‰	1.432	1.086	0.415
wk	mm	0.267	0.203	0.078

GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE

Figura 5: Exportação PDF: resultados de fissuração.

Conclusão

O cálculo direto de abertura de fissura conforme o EC2 §7.3.4 fornece uma avaliação rigorosa do estado de fissuração no estado limite de serviço. O SectionPro automatiza todo o procedimento: da

análise tensão–deformação à determinação da área efetiva de tração $h_{c,\text{eff}}$, do espaçamento de fissuras $s_{r,\text{max}}$ e da abertura de fissura final w_k .

Os dois exemplos ilustram cenários contrastantes: uma laje retangular sob flexão e tração, e uma viga I sob momentos fletores crescentes.

O cálculo aplica-se a seções transversais de forma arbitrária: a área efetiva de tração e a detecção da armadura são calculadas a partir da geometria geral da seção, sem se limitar a hipóteses retangulares. O método é igualmente aplicável a outros contextos normativos, adaptando os parâmetros de fissuração ($k_t, k_1, k_3, k_4, f_{ct,\text{eff}}$) aos valores prescritos pela norma aplicável.