



Análisis de fisuración

Tutorial SectionPro — Abertura de fisura w_k y separación máxima $s_{r, \max}$ en estado límite de servicio según Eurocódigo 2

BridgeKernel · 2026

Introducción

El hormigón armado fisura bajo cargas de servicio. Las fisuras no comprometen la seguridad, pero aberturas excesivas exponen la armadura al agua, cloruros y CO_2 , causando corrosión. Las normas limitan por tanto w_k en ELS.

SectionPro aplica el cálculo directo del Eurocódigo 2. La abertura de fisura es el producto de la separación máxima y la deformación diferencial media acero-hormigón:

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

La separación depende del recubrimiento c , el diámetro φ_s , el factor de adherencia k_1 y la cuantía eficaz $\rho_{p, \text{eff}}$:

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

La deformación diferencial media incluye el tension stiffening (el hormigón entre fisuras asume parte de la tracción):

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

La profundidad del área eficaz $h_{c, \text{eff}}$ se calcula automáticamente: $h_{c, \text{eff}} = \min(2.5(h - d), (h - x)/3, h/2)$.

Resultados calculados

SectionPro proporciona para cada análisis de fisuración:

Resultados por caso

w_k : abertura de fisura
 $s_{r, \max}$: separación máxima
 σ_s : tensión del acero

Valores intermedios

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

Exportación

PDF, Excel (.xlsx), Texto
Combinaciones desfavorables, valores intermedios

Losa rectangular

Datos de entrada

Hormigón

- Sección transversal rectangular
- Ancho $b = 1.00$ m
- Canto $h = 0.30$ m

Armadura

- 14 barras $\varnothing 14$ ($\varphi_s = 14$ mm)
- 7 inferior + 7 superior, separación 157 mm
- Recubrimiento 30 mm, 1 capa por cara
- $A_s = 14 \times 1.539 = 21.55$ cm²

Leyes de materiales (EC2)

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

Data

← Solid Rectangular Section

Concrete
 Width (m) Height (m)

Reinforcement ⓘ
 Mode: count on each side ▾
 Define one or multiple layers of reinforcement:

Layer position: Top ▾

Number of rebars

Bar diameter (mm)

Concrete cover (mm)

Layers (1 or 2)

Submit

Infos


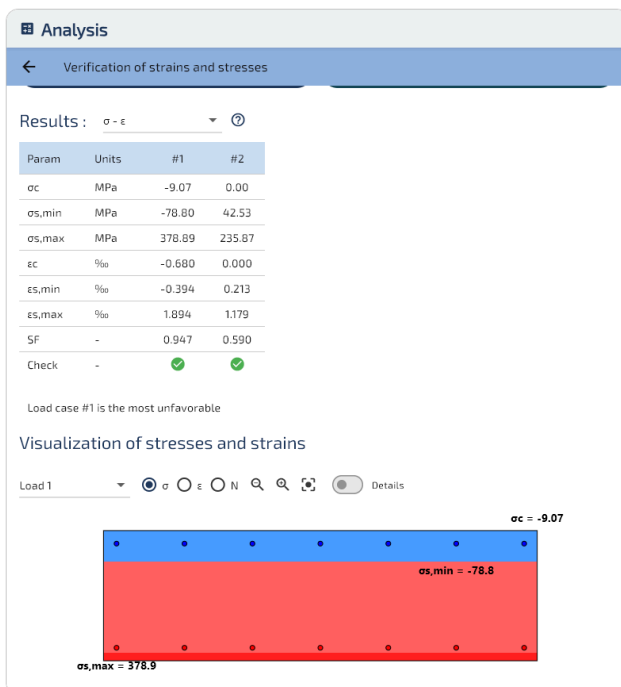


Figura 1: Losa rectangular.

Resultados

La abertura de fisura se evalúa para dos estados de carga: flexión pura y tracción dominante. Los parámetros de fisuración conservan sus valores recomendados: $k_t = 0.6$ (largo plazo), $k_1 = 0.8$ (barras de alta adherencia), $k_3 = 3.4$, $k_4 = 0.425$, $f_{ct,eff} = 3.2$ MPa.



Analysis

← Crack width and spacing

The maximum crack opening for each limit state is given below, along with the corresponding maximum spacing $s_{r,max}$:

Param	Units	SLS-C
wk	mm	0.315
$s_{r,max}$	mm	279.4
Load	-	#1

Detailed Results ⓘ
The intermediate parameters involved in the crack width calculation are given below.

Param	Units	#1	#2
h	m	0.300	0.300
d	m	0.270	0.270
x	m	0.071	0.000
c	m	0.030	0.030
hc,eff	m	0.075	0.075
Ac,eff	m ²	0.0750	0.0750
As,eff	m ²	0.0011	0.0011
ρlt,eff	-	0.0144	0.0144
k2	-	0.500	0.535
φs	mm	14.00	14.00
$s_{r,max}$	mm	267.7	279.4
os	MPa	378.9	235.9

Figura 2: Losa: estado tensión-deformación (izq.) y tabla de resultados (dcha.).

En flexión pura ($M_z = 100$ kN · m), el eje neutro se sitúa en $x = 71$ mm, dejando $h - x = 229$ mm de la sección en tracción. Con $k_2 = 0.5$, la fórmula da $s_{r,max} = 267.7$ mm. La abertura $w_k = 0.315$ mm supera el límite habitual de 0.3 mm: sería necesario un canto mayor o menor separación entre barras.

En tracción ($N = -300 \text{ kN}$, $M_z = 25 \text{ kN}\cdot\text{m}$), toda la sección está fisurada ($x = 0$). Pese a la fisuración completa, $w_k = 0.198 \text{ mm}$ es menor que en flexión porque las 14 barras reparten la carga, reduciendo σ_s de 379 a 236 MPa. El factor $k_2 = 0.535$ refleja la distribución de deformaciones ligeramente no uniforme debida al momento flector residual.

Viga en I: flexión pura

Datos de entrada

Hormigón

- Sección en I con cartelas
- Ala inferior: $b = 0.75 \text{ m}$
- Alma: $b_w = 0.25 \text{ m}$
- Ala superior: $b_f = 1.60 \text{ m}$
- Canto total $h = 1.80 \text{ m}$

Armadura (acero pasivo)

- 70 barras en total (HA16 + HA20)
- 6 HA20 como armadura inferior
- 64 HA16 distribuidas por el contorno

Leyes de materiales (EC2)

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

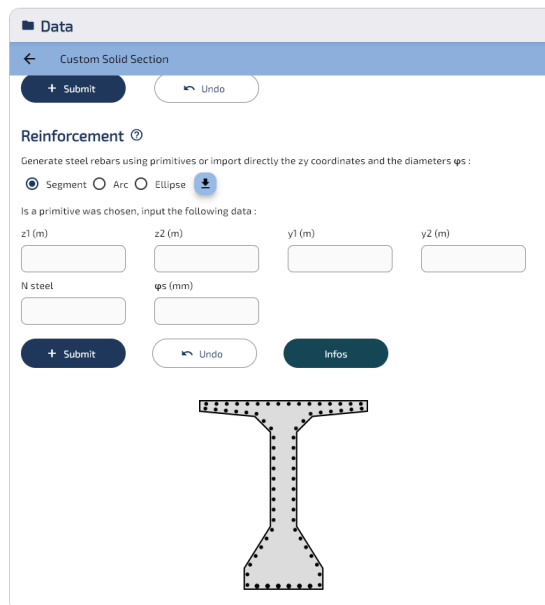


Figura 3: Viga en I.

Resultados

La viga en I se carga en flexión pura a tres niveles crecientes ($M_z = 1000, 2000$ y $2500 \text{ kN}\cdot\text{m}$). Parámetros de fisuración: $k_t = 0.6$, $k_1 = 0.8$, $k_3 = 3.4$, $k_4 = 0.425$, $f_{ct,eff} = 2.9 \text{ MPa}$.

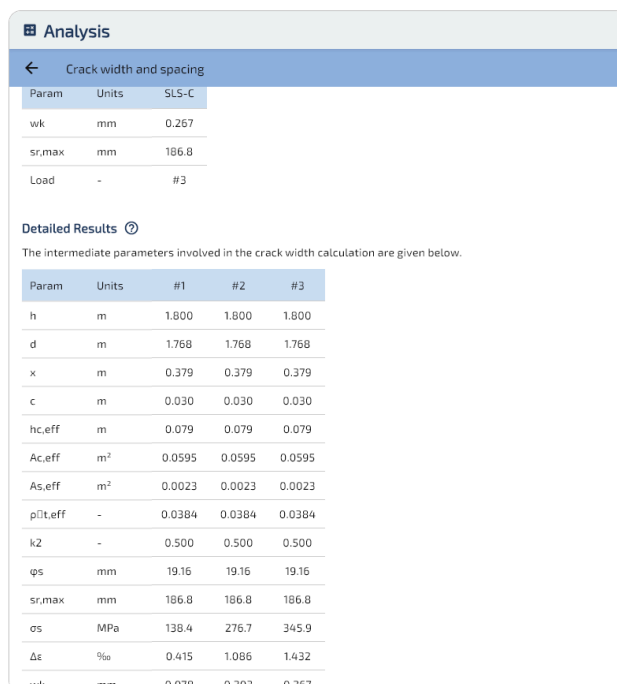
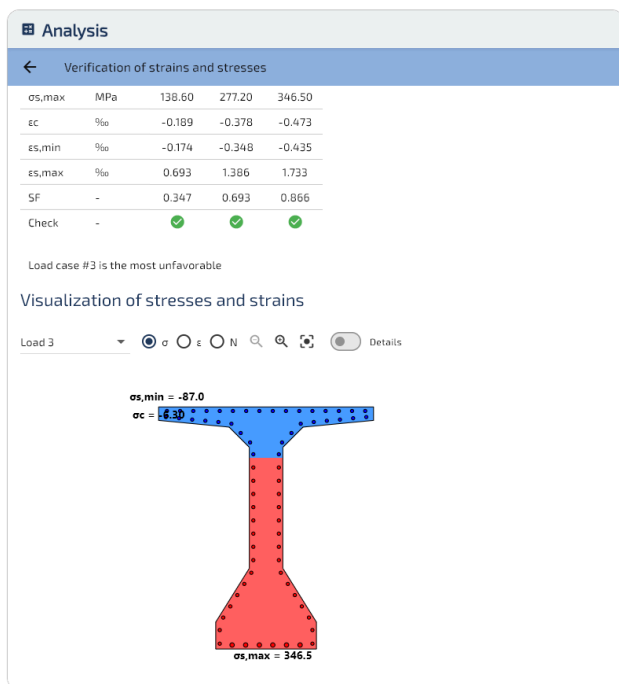


Figura 4: Viga en I: estado tensión–deformación (izq.) y tabla de resultados (dcha.).

La abertura de fisura crece con el momento aplicado: $w_k = 0.078$ mm para $M_z = 1000$ kN · m, 0.203 mm para 2000 kN · m y 0.267 mm para 2500 kN · m, todos por debajo del límite de 0.3 mm. La separación $s_{r, \max} = 186.8$ mm permanece constante en todos los niveles de carga, ya que depende únicamente de la geometría y la disposición de la armadura.

Rendimiento

El cálculo de fisuración es instantáneo: menos de 10 ms para proyectos típicos (hasta 1 000 casos ELS) y menos de medio segundo incluso para 100 000 casos.

Exportación

SectionPro exporta el análisis de fisuración en tres formatos: **PDF**, **texto** (columnas de ancho fijo) y **Excel** (.xlsx). Los datos exportados incluyen todos los 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 decreciente.

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: Exportación PDF: resultados de fisuración.

Conclusión

El cálculo directo de abertura de fisura según EC2 §7.3.4 proporciona una evaluación rigurosa del estado de fisuración en servicio. SectionPro automatiza todo el procedimiento: desde el análisis

tensión–deformación hasta la determinación del área eficaz de tracción $h_{c,eff}$, la separación entre fisuras $s_{r,max}$ y la abertura final w_k .

Los dos ejemplos ilustran escenarios contrastados: una losa rectangular bajo flexión y tracción, y una viga en I bajo momentos flectores crecientes.

El cálculo se aplica a secciones de forma arbitraria: el área eficaz de tracción y la detección de armaduras se calculan a partir de la geometría general, sin limitarse a hipótesis rectangulares. El método es también aplicable a otros contextos normativos adaptando los parámetros de fisuración ($k_t, k_1, k_3, k_4, f_{ct,eff}$) a los valores de la norma correspondiente.