



# Superficie de interacción

Tutorial SectionPro: dominios de resistencia 3D en flexión esviada

BridgeKernel · 2026

## Introducción

Verificar una sección de hormigón armado bajo esfuerzo axial y flexión combinados es sencillo cuando la flexión es uniaxial: un único diagrama de interacción  $(N, M)$  describe la totalidad del dominio de resistencia. En flexión esviada, en cambio, la resistencia depende simultáneamente de  $N$ ,  $M_z$  y  $M_y$ , y ninguna curva 2D es suficiente. El dominio de resistencia completo se convierte en una superficie tridimensional en el espacio  $(N, M_z, M_y)$ .

SectionPro calcula esta superficie para cada estado límite definido por el usuario. Un punto de carga dentro indica seguridad; fuera, capacidad superada. La superficie se muestra en un visor 3D interactivo y puede exportarse en PDF, Excel y texto.

Este artículo presenta el análisis de la superficie de interacción sobre dos geometrías y dos códigos normativos: una **sección octogonal** (Eurocode 2) y una **sección elíptica** (ACI 318), cada una analizada en ELU y en ELS.

## Resultados calculados

SectionPro proporciona tres categorías de resultados para cada superficie de interacción:

### Dominio de resistencia 3D

- Superficie triangulada interactiva
- Una superficie por estado límite
- Resolución de malla ajustable
- Rotación, zoom, desplazamiento
- Opacidad de la superficie ajustable

### Caja delimitadora

- $N_{\min}, N_{\max}$ : rango de esfuerzo axial
- $M_{z, \min}, M_{z, \max}$ : rango de momento
- $M_{y, \min}, M_{y, \max}$ : rango de momento
- Capacidad extrema por dirección

### Exportaciones

- PDF: caja delimitadora + vistas 3D
- XLS: coordenadas de malla + triángulos
- TXT: coordenadas de malla (columnas)

## Escenarios de prueba

**Sección octogonal (Eurocode 2).** En ELU, el hormigón sigue una ley parábola-rectángulo con  $\gamma_c = 1,50$  y el acero es elastoplástico con endurecimiento ( $\gamma_s = 1,15$ ). En ELS, ambos materiales son elásticos lineales con tensiones admisibles definidas por el usuario.

**Sección elíptica (ACI 318).** En ELU, el hormigón sigue el bloque de Whitney, con factores  $\varphi$  (0,65 a 0,90), tope  $\varphi_N = 0,80$  y tensión de bloque completa, ya que  $\rho = 0,07\%$  supera el

umbral del 1 %. En ELS, ambos materiales son elásticos lineales con tensiones admisibles definidas por el usuario.

## Sección octogonal (Eurocode 2)

### Datos de entrada

#### Hormigón

- Sección transversal octogonal
- $b_1 = 2\{, \}00$  m,  $b_2 = 0\{, \}50$  m
- $h_1 = 1\{, \}00$  m,  $h_2 = 0\{, \}60$  m

#### Armaduras

- 48 barras, espaciado uniforme 150 mm
- Diámetro  $\varphi = 32$  mm
- Recubrimiento 50 mm, 1 capa

#### Leyes de materiales (EC2)

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

The screenshot shows a 'Data' form for an 'Octagonal solid section'. Under the 'Concrete' section, there are input fields for Width b1 (m) = 2, Width b2 (m) = 0.5, Height h1 (m) = 1, and Height h2 (m) = 0.6. Under the 'Reinforcement' section, the mode is set to 'uniform spacing', with Bar spacing (mm) = 150, Bar diameter (mm) = 32, Concrete cover (mm) = 50, and Layers (1 or 2) = 1. There are 'Submit' and 'Infos' buttons. Below the form is a 3D visualization of the octagonal cross-section with reinforcement bars.

Figura 1: Sección octogonal: geometría y disposición de armaduras.

## ELU (Fundamental)

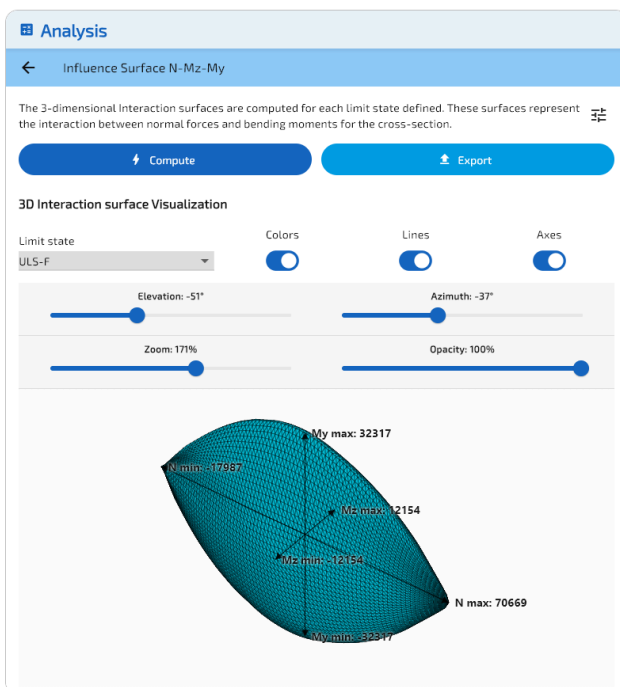


Figura 2: Superficie de interacción en ELU, triángulos coloreados.

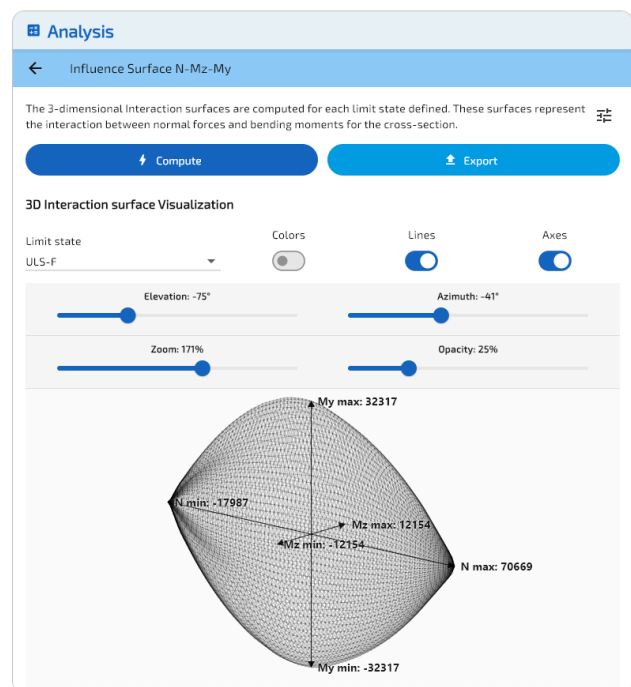


Figura 3: Superficie de interacción en ELU, vista alámbrica.

## ELS (Característica)

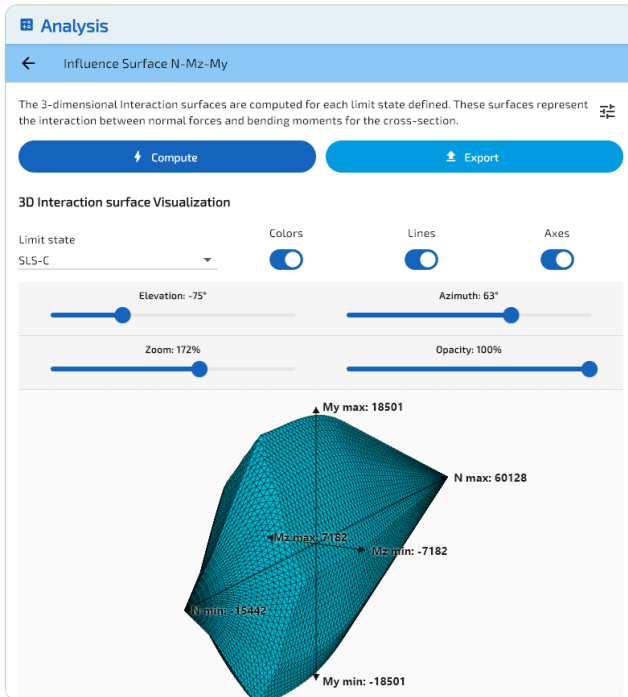


Figura 4: Superficie de interacción en ELS, triángulos coloreados.

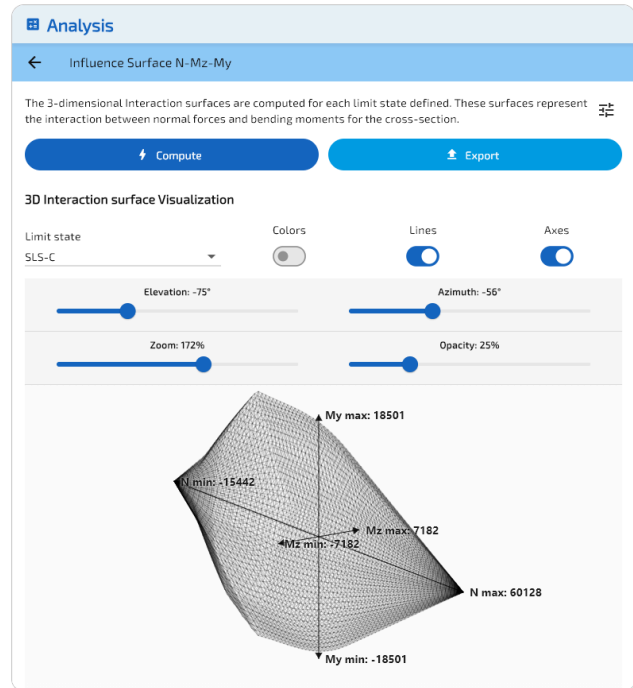


Figura 5: Superficie de interacción en ELS, vista alámbrica.

## Caja delimitadora

	Esfuerzo axial $N$ (kN)	Momento $M_z$ (kN·m)	Momento $M_y$ (kN·m)
ELU min	-17987	-12154	-32317
ELU max	70669	12154	32317
ELS min	-15442	-7182	-18501
ELS max	60128	7182	18501

- La sección es más ancha que alta ( $b_1 = 2\{, \}00$  m,  $h_1 = 1\{, \}00$  m), por lo que  $M_y$  alcanza valores extremos superiores a  $M_z$  (eje fuerte vertical).
- La superficie ELU es mayor que la ELS, ya que la ley no lineal del EC2 ofrece mayor capacidad que la ley elástica del ELS.

# Sección elíptica (ACI 318)

## Datos de entrada

### Hormigón

- Sección transversal elíptica
- Ancho = 3{,}00 m (eje fuerte)
- Altura = 2{,}00 m (eje débil)

### Armaduras

- 40 barras a lo largo del perímetro
- Diámetro  $\varphi = 40$  mm
- Recubrimiento 50 mm, 1 capa

### Leyes de materiales (ACI 318)

- Hormigón:  $f'_c = 30$  MPa
- Acero:  $f_y = 500$  MPa

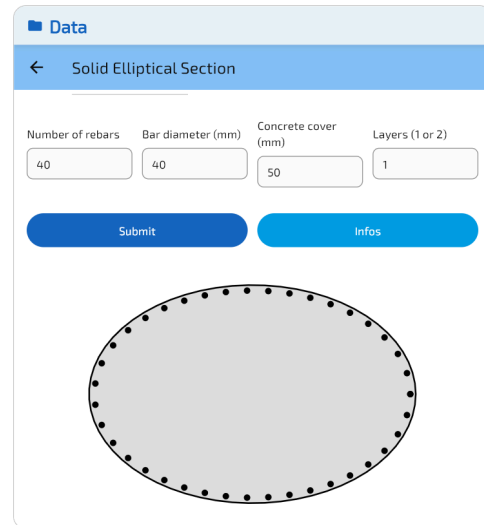


Figura 6: Sección elíptica: geometría y disposición de armaduras.

En ELU, la distribución de tensiones se sustituye por el bloque de Whitney ( $\beta_1 = 0{,}832$ ). Los factores  $\varphi$  ( $0{,}90/0{,}65$ ) y el tope  $\varphi_N = 0{,}80$  se aplican. Con  $\rho = 1{,}07\%$  superior al  $1\%$ , se moviliza la tensión completa del bloque.

## ELU

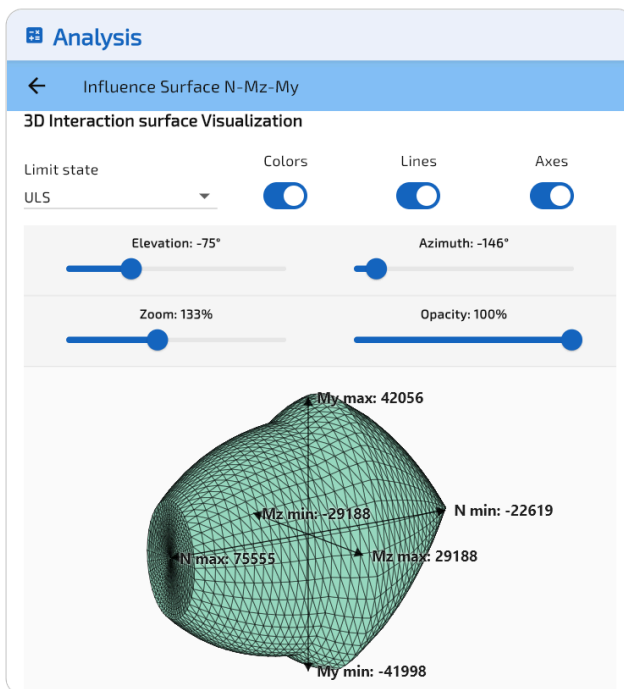


Figura 7: Superficie de interacción en ELU, triángulos coloreados.

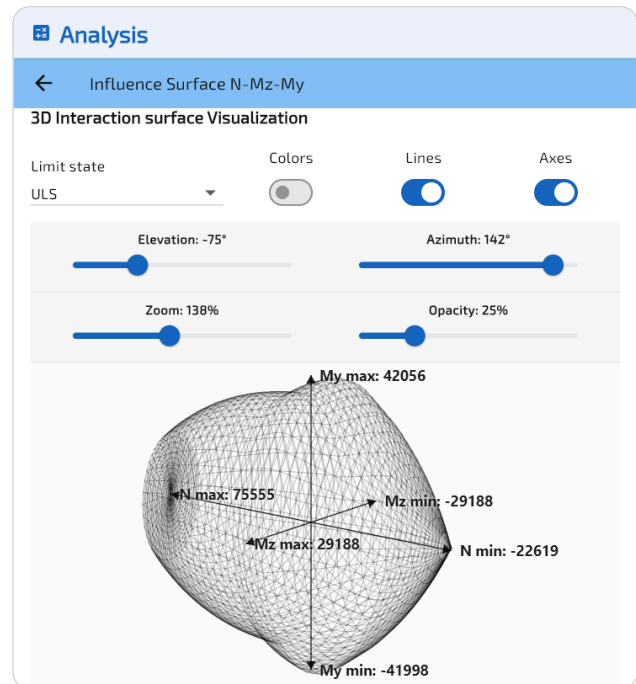


Figura 8: Superficie de interacción en ELU, vista alámbrica.

## ELS

En ELS, ambos materiales siguen leyes elásticas con tensiones admisibles ( $\sigma_c = 11\{, \}5$  MPa,  $\sigma_s = 250$  MPa), lo que explica la superficie más reducida respecto al ELU.

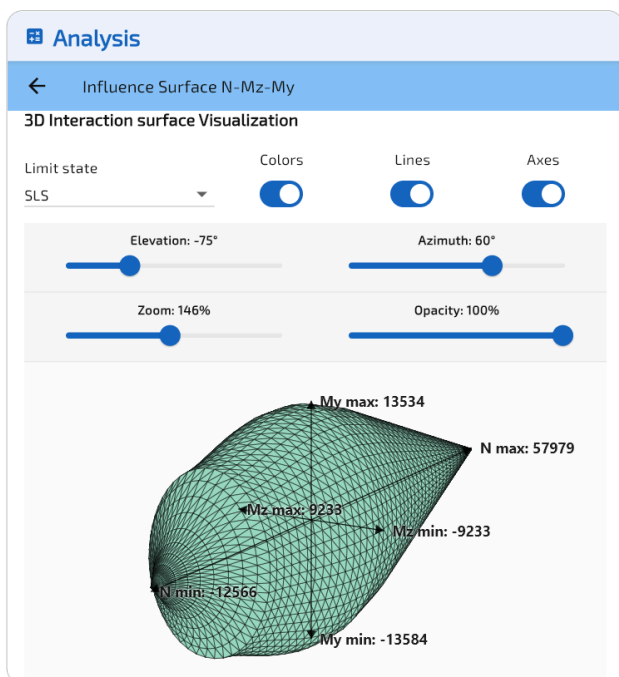


Figura 9: Superficie de interacción en ELS, triángulos coloreados.

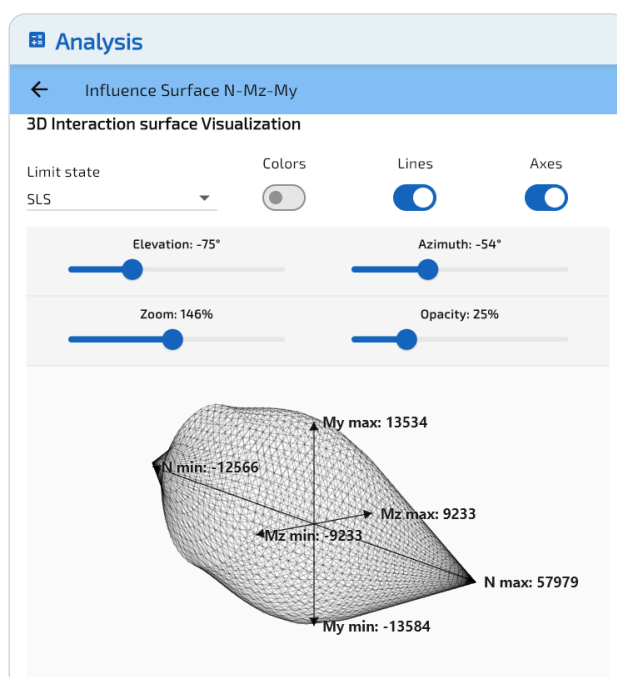


Figura 10: Superficie de interacción en ELS, vista alámbrica.

## Caja delimitadora

	Esfuerzo axial $N$ (kN)	Momento $M_z$ (kN·m)	Momento $M_y$ (kN·m)
ELU min	-22619	-29188	-41998
ELU max	75555	29188	42056
ELS min	-12566	-9233	-13584
ELS max	57979	9233	13534

- La sección es más ancha que alta ( $3\{, \}00 \times 2\{, \}00$  m), por lo que  $M_y$  supera a  $M_z$ , pero la superficie conserva una forma redondeada gracias a la geometría elíptica.
- La superficie ELU es mayor que la ELS. Los factores  $\varphi$  ( $\varphi = 0\{, \}65$ ,  $\varphi_N = 0\{, \}80$ ) dan un factor efectivo de  $0\{, \}52$ . En ELS, la tensión admisible ( $\sigma_c = 11\{, \}5$  MPa) limita la capacidad a compresión.

## Exportación

SectionPro exporta la superficie en tres formatos: PDF (caja delimitadora + vistas 3D), Excel (coordenadas de nodos y conectividad de triángulos por estado límite) y texto (columnas de ancho fijo).

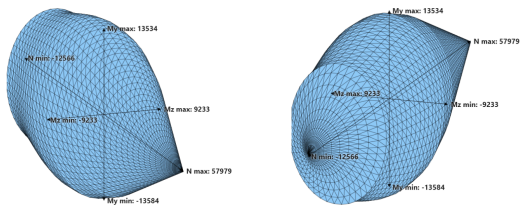
### INFLUENCE SURFACE CALCULATION RESULTS

GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE ON : 2026-03-16 22:30

Below are figures allowing 3D visualization of the resistance domains of the studied reinforced concrete section. The bounding boxes represent the extreme values of the resisting forces.

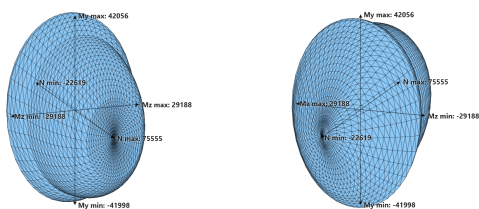
#### SLS : Serviceability limit state

Bounding box	Axial force N (kN)	Moment Mz (kN-m)	Moment My (kN-m)
Minimum value	-12566	-9232.7	-13584
Maximum value	57979	9232.7	13534



#### ULS : Ultimate limit state

Bounding box	Axial force N (kN)	Moment Mz (kN-m)	Moment My (kN-m)
Minimum value	-22619	-29188	-41998
Maximum value	75555	29188	42056



GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE

### INFLUENCE SURFACE CALCULATION RESULTS

GENERATED BY THE SECTIONPRO SOFTWARE ON : 2026-03-16 22:32

#### INFLUENCE SURFACE NODES

ID	SLS N kN	SLS Mz kN-m	SLS My kN-m	ULS N kN	ULS Mz kN-m	ULS My kN-m
1	-12566.37	0.00	455.54	-22619.47	0.00	819.97
2	-11126.67	735.28	403.35	-19892.39	2557.77	811.22
3	-11126.67	729.70	297.26	-19892.39	2516.78	108.24
4	-11126.67	714.06	192.56	-19892.39	2391.21	-557.84
5	-11126.67	689.11	90.35	-19892.39	2204.62	-1146.42
6	-11126.67	655.70	-8.52	-19892.39	1985.45	-1625.51
7	-11126.67	613.41	-104.44	-19892.39	1741.43	-2023.96
8	-11126.67	562.89	-196.03	-19892.39	1489.98	-2328.95
9	-11126.67	501.17	-280.80	-19892.39	1275.81	-2547.72
10	-11126.67	429.11	-355.88	-19892.39	926.37	-2780.14
11	-11126.67	348.12	-422.33	-19892.39	704.46	-2900.77
12	-11126.67	257.87	-478.01	-19892.39	456.63	-2996.54
13	-11126.67	158.72	-517.58	-19892.39	281.52	-3046.76
14	-11126.67	53.15	-534.98	-19892.39	78.28	-3072.02
15	-11126.67	-54.09	-534.86	-19892.39	-78.28	-3072.02
16	-11126.67	-159.62	-517.22	-19892.39	-281.52	-3046.76
17	-11126.67	-258.70	-477.68	-19892.39	-456.63	-2996.54
18	-11126.67	-348.90	-421.81	-19892.39	-704.46	-2900.77
19	-11126.67	-429.75	-355.24	-19892.39	-926.37	-2780.14
20	-11126.67	-501.72	-280.06	-19892.39	-1275.81	-2547.72
21	-11126.67	-563.41	-195.32	-19892.39	-1489.98	-2328.95
22	-11126.67	-613.84	-103.63	-19892.39	-1741.43	-2023.96
23	-11126.67	-656.03	-7.68	-19892.39	-1985.45	-1625.51
24	-11126.67	-689.34	91.23	-19892.39	-2204.62	-1146.42
25	-11126.67	-714.20	193.48	-19892.39	-2391.21	-557.84
26	-11126.67	-729.84	298.18	-19892.39	-2516.78	108.24
27	-11126.67	-735.33	404.28	-19892.39	-2557.77	811.22
28	-11126.67	-732.29	510.75	-19892.39	-2511.26	1542.12
29	-11126.67	-720.56	617.04	-19892.39	-2384.84	2227.62
30	-11126.67	-700.44	722.57	-19892.39	-2200.96	2795.51
31	-11126.67	-671.42	826.17	-19892.39	-1977.22	3277.78
32	-11126.67	-630.20	926.34	-19892.39	-1738.23	3662.90
33	-11126.67	-579.44	1021.31	-19892.39	-1507.85	3960.63
34	-11126.67	-518.39	1111.70	-19892.39	-1238.45	4214.13
35	-11126.67	-447.15	1195.20	-19892.39	-1039.81	4368.97
36	-11126.67	-364.46	1268.31	-19892.39	-770.16	4517.62
37	-11126.67	-269.76	1325.50	-19892.39	-572.99	4603.18
38	-11126.67	-166.18	1367.41	-19892.39	-322.42	4665.74
39	-11126.67	-55.99	1391.86	-19892.39	-122.30	4694.04
40	-11126.67	56.98	1391.86	-19892.39	122.30	4694.04
41	-11126.67	167.13	1367.14	-19892.39	322.42	4665.74
42	-11126.67	270.60	1325.03	-19892.39	572.99	4603.18
43	-11126.67	365.22	1267.64	-19892.39	770.16	4517.62
44	-11126.67	447.84	1194.58	-19892.39	1039.81	4368.97
45	-11126.67	518.97	1110.97	-19892.39	1238.45	4214.13
46	-11126.67	579.90	1020.51	-19892.39	1507.85	3960.63
47	-11126.67	630.56	925.45	-19892.39	1738.23	3662.90
48	-11126.67	671.68	825.27	-19892.39	1977.22	3277.78
49	-11126.67	700.69	721.67	-19892.39	2200.96	2795.51
50	-11126.67	720.72	616.12	-19892.39	2384.84	2227.62
51	-11126.67	732.34	509.81	-19892.39	2511.26	1542.12
52	-11126.67	735.28	403.35	-19892.39	2557.77	811.22
53	-9686.97	1470.57	351.16	-17165.31	5075.23	836.95

Figura 11: Exportación PDF: caja delimitadora y vistas 3D. Figura 12: Exportación Excel: coordenadas de nodos y triángulos.

## Rendimiento

El cálculo de la superficie de interacción es instantáneo en la práctica. La siguiente tabla muestra los tiempos de cálculo puros (sin renderizado gráfico) medidos en un PC de escritorio para las dos secciones de este artículo, a tres resoluciones de malla (25 × 25, 50 × 50 y 100 × 100).

Sección	Gruesa (1.2k tri)	Media (4.9k tri)	Fina (19.8k tri)
Octogonal – EC2	7 ms	17 ms	24 ms
Elíptica – ACI 318	7 ms	6 ms	10 ms

El núcleo EC2 produce cinco superficies en una llamada, ACI 318 dos en llamadas separadas. Todas se calculan en menos de 25 ms, incluso a la resolución más fina.

## Conclusión

La superficie de interacción permite visualizar el dominio de resistencia completo en flexión esviada. El módulo de verificación de SectionPro proyecta cada combinación de cargas sobre esta superficie y devuelve el coeficiente de seguridad, lo que será objeto del próximo artículo.

Los dos ejemplos ilustran cómo la geometría y el código normativo configuran el dominio. Los formatos de exportación (PDF, Excel, texto) proporcionan los datos necesarios para los informes de cálculo.

