



# Propiedades mecánicas

Tutorial SectionPro — Sección cuadrada, circular hueca & muro en L

BridgeKernel · 2026

## Introducción

Las propiedades mecánicas de una sección — área, momentos de inercia, centro de gravedad, constante de torsión, áreas de cortante — son el punto de partida de todo cálculo estructural. Este artículo muestra cómo obtenerlas con **SectionPro**, sobre tres geometrías diferentes:

1. **Sección cuadrada** — el caso más simple, todas las propiedades son calculables analíticamente.
2. **Sección circular hueca** — la torsión y la inercia siguen siendo analíticas, pero las áreas de cortante requieren un cálculo numérico.
3. **Muro en L** — solo las propiedades geométricas son analíticas. La torsión, el cortante y el alabeo son puramente numéricos. Esta sección ilustra el caso de una geometría asimétrica ( $\alpha \neq 0$ ).

## Propiedades calculadas

SectionPro calcula las siguientes propiedades. Los tres primeros grupos se calculan en sección bruta, neta (deducción de los huecos en las posiciones de las armaduras) y homogeneizada (consideración de las armaduras mediante el coeficiente de equivalencia  $n$ ):

### Resultados generales

$A$  — Área  
 $(z_G, y_G)$  — Centro de gravedad  
 $P$  — Perímetro  
 $W$  — Peso lineal

### Ejes baricéntricos

$I_{zz}, I_{yy}$  — Momentos de inercia  
 $v^+, v^-$  — Fibras extremas ( $y$ )  
 $w^+, w^-$  — Fibras extremas ( $z$ )

### Ejes principales

$\alpha$  — Ángulo de rotación  
 $I_1, I_2$  — Inercias principales  
 $v^+, v^-, w^+, w^-$  — Fibras extremas

### Torsión & cortante (MEF)

$J$  — Constante de torsión  
 $A_{sy}, A_{sz}$  — Áreas de cortante  
 $(y_T, z_T)$  — Centro de cortante  
 $\Gamma$  — Constante de alabeo

Las propiedades de torsión y cortante requieren la resolución de una ecuación diferencial mediante el método de los elementos finitos.

# Sección cuadrada

## Datos

### Hormigón

Lado  $a = 2.0$  m

Densidad  $\rho = 2.5$  t/m<sup>3</sup>

### Armaduras

HA25 espaciamiento 200 mm, recubrimiento 50 mm

1 capa — coeficiente de equivalencia  $n = 5$

## Entrada y resultados

Figura 1: Entrada de la sección cuadrada.

Cara	Unit	Raw	Net	Homog.
A	m <sup>2</sup>	4.0000	3.9823	4.0707
z <sub>G</sub>	m	1.0000	1.0000	1.0000
y <sub>G</sub>	m	1.0000	1.0000	1.0000
P	m	8.0000	—	—
W	T/m	10.0000	—	—

Figura 2: Página de resultados de las propiedades mecánicas.

Por doble simetría, el centro de gravedad se sitúa en el centro del cuadrado, el ángulo principal es nulo y las dos inercias son iguales.

## Resultados generales

	Unidad	Bruta	Neta	Hom.
A	m <sup>2</sup>	4.0000	3.9823	4.0707
z <sub>G</sub>	m	1.0000	1.0000	1.0000
y <sub>G</sub>	m	1.0000	1.0000	1.0000
P	m	8.0000	—	—
W	T/m	10.0000	—	—

## Flexión

### 3.2.2.1 Ejes baricéntricos

	Unidad	Bruta	Neta	Hom.
$I_{zz}$	m <sup>4</sup>	1.3333	1.3226	1.3761
$I_{yy}$	m <sup>4</sup>	1.3333	1.3226	1.3761
$v^+$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$v^-$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$w^+$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$w^-$	m	1.0000	1.0000	1.0000

### 3.2.2.2 Ejes principales

	Unidad	Bruta	Neta	Hom.
$I_1$	m <sup>4</sup>	1.3333	1.3226	1.3761
$I_2$	m <sup>4</sup>	1.3333	1.3226	1.3761
$v^+$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$v^-$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$w^+$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$w^-$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$\alpha$	°	0.00	0.00	0.00

## Torsión y cortante (MEF)

Por doble simetría, el centro de cortante coincide con el centro de gravedad ( $y_T = z_T = y_G = z_G = 1.0$  m). El alabeo es casi nulo ( $\Gamma \approx 0$ ). La relación  $A_{sz}/A = 3.33/4.00 \approx 0.83$  es típica de una sección maciza.

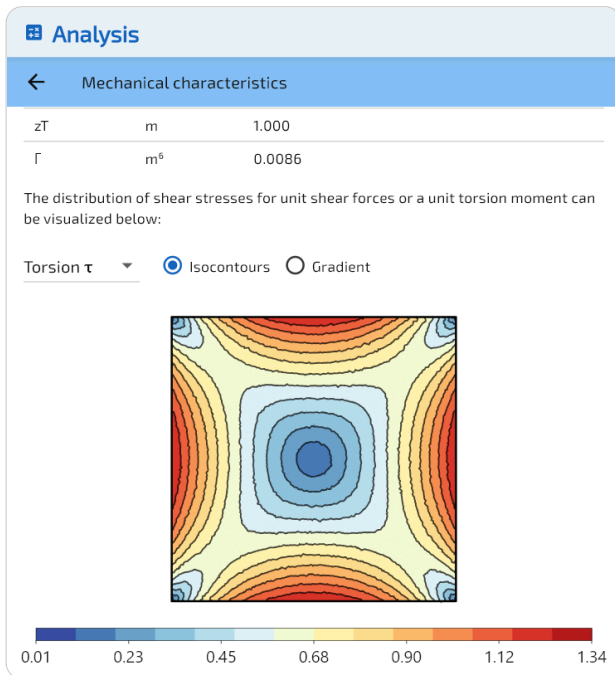


Figura 3: Tensiones de torsión  $\tau$  — máximo en el centro de los lados.

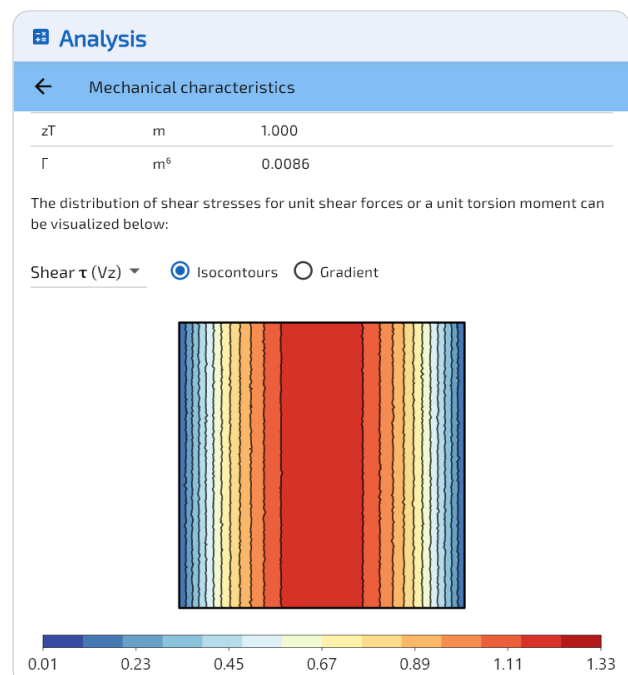


Figura 4: Tensiones de cortante.

	$J$	$A_{sz}$	$A_{sy}$	$y_T$	$z_T$	$\Gamma$
Unidad	m <sup>4</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>6</sup>
Valor	2.2492	3.3333	3.3333	1.0000	1.0000	0.0086

# Sección circular hueca

## Datos

### Hormigón

Diámetro exterior  $D = 2.0$  m

Espesor de pared  $e = 0.3$  m

Densidad  $\rho = 2.5$  t/m<sup>3</sup>

### Armaduras

24 HA20, recubrimiento 50 mm

1 capa — coeficiente de equivalencia  $n = 5$

## Entrada y resultados

**Data**

Hollow Circular Section

**Concrete**

Outer diameter (m): 2.0

Wall thickness (m): 0.3

**Reinforcement**

Mode: count

Number of rebars: 24

Bar diameter (mm): 20

Concrete cover (mm): 50

Layers (1 or 2): 1

Submit Infos

Figura 5: Entrada de la sección circular hueca.

**Analysis**

Mechanical characteristics

**General results**

The area  $A$ , perimeter  $P$ , weight per linear meter  $W$  and the coordinates of the center of gravity ( $z_G$ ,  $y_G$ ) are given below:

Cara	Unit	Raw	Net	Homog.
A	m <sup>2</sup>	1.6022	1.5871	1.6625
$z_G$	m	1.000	1.000	1.000
$y_G$	m	1.000	1.000	1.000
P	m	6.283	-	-
W	T/m	4.005	-	-

$z_G$  and  $y_G$  are given respectively with respect to the extreme fiber on the left and at the bottom of the section.

**Centroidal reference frame**

The central reference frame is positioned at the center of gravity of the gross section. The z-axis is horizontal, oriented to the right and the y-axis is vertical, oriented upwards.

The moments of inertia  $I_{zz}$  and  $I_{yy}$ , as well as the distances of the extreme fibers at the top ( $v^+$ ), at the bottom ( $v^-$ ), to the right ( $w^+$ ) and to the left ( $w^-$ ) with respect to this reference frame are given below:

Cara	Unit	Raw	Net	Homog.
$I_{zz}$	m <sup>4</sup>	0.5968	0.5913	0.6189
$I_{yy}$	m <sup>4</sup>	0.5968	0.5913	0.6189
$v^+$	m	1.000	1.000	1.000
$v^-$	m	1.000	1.000	1.000
$w^+$	m	1.000	1.000	1.000
$w^-$	m	1.000	1.000	1.000

Figura 6: Página de resultados de las propiedades mecánicas.

Por simetría circular, las inercias son iguales y el ángulo principal es indeterminado (mostrado como 0°).

## Resultados generales

	Unidad	Bruta	Neta	Hom.
A	m <sup>2</sup>	1.6022	1.5871	1.6625
$z_G$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$y_G$	m	1.0000	1.0000	1.0000
P	m	6.2832	—	—
W	T/m	4.0055	—	—

## Flexión

### 4.2.2.1 Ejes baricéntricos

	Unidad	Bruta	Neta	Hom.
$I_{zz}$	m <sup>4</sup>	0.5968	0.5913	0.6189
$I_{yy}$	m <sup>4</sup>	0.5968	0.5913	0.6189
$v^+$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$v^-$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$w^+$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$w^-$	m	1.0000	1.0000	1.0000

### 4.2.2.2 Ejes principales

	Unidad	Bruta	Neta	Hom.
$I_1$	m <sup>4</sup>	0.5968	0.5913	0.6189
$I_2$	m <sup>4</sup>	0.5968	0.5913	0.6189
$v^+$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$v^-$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$w^+$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$w^-$	m	1.0000	1.0000	1.0000
$\alpha$	°	0.00	0.00	0.00

## Torsión y cortante (MEF)

Por simetría de revolución, el centro de cortante coincide con el centro de gravedad ( $y_T = z_T = y_G = z_G = 1.0$  m) y el alabeo es nulo ( $\Gamma = 0$ ). La relación  $A_{sz}/A = 0.84/1.60 \approx 0.53$ : la sección hueca es menos eficiente a cortante que una sección maciza.

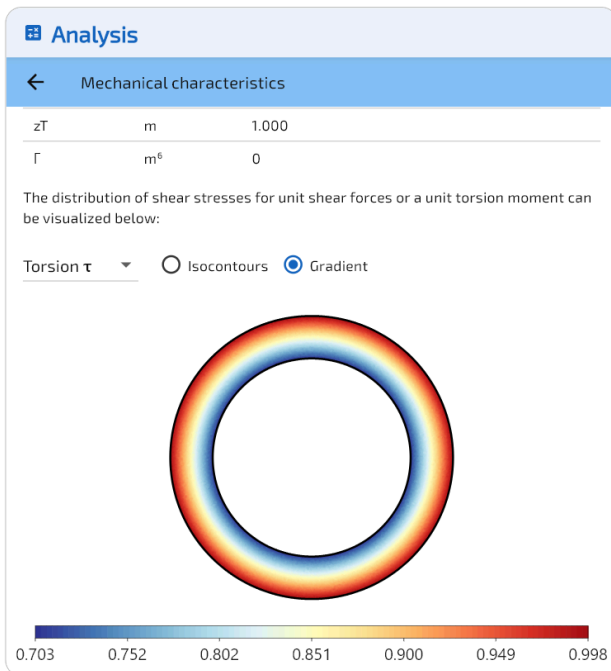


Figura 7: Tensiones de torsión  $\tau$  — máximo en el contorno exterior.

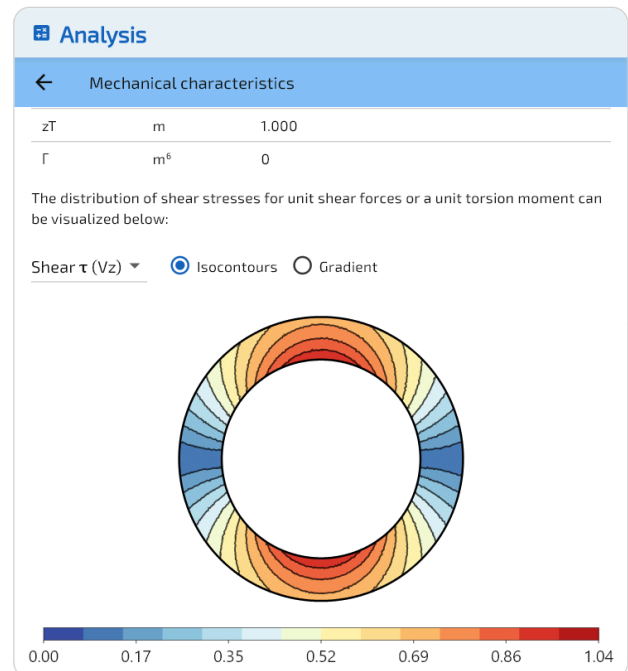


Figura 8: Tensiones de cortante.

	$J$	$A_{sz}$	$A_{sy}$	$y_T$	$z_T$	$\Gamma$
Unidad	m <sup>4</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>6</sup>
Valor	1.1936	0.8422	0.8422	1.0000	1.0000	0.0000

# Muro en L

## Datos

### Hormigón

Tipo L — ancho 2.0 m, altura 2.0 m

Espesor  $t = 0.3$  m

Densidad  $\rho = 2.5$  t/m<sup>3</sup>

### Armaduras

HA20 espaciamiento 200 mm, recubrimiento 40 mm

1 capa — coeficiente de equivalencia  $n = 5$

## Entrada y resultados

Figura 9: Entrada del muro en L.

**General results**

The area A, perimeter P, weight per linear meter W and the coordinates of the center of gravity (z<sub>G</sub>, y<sub>G</sub>) are given below:

Cara	Unit	Raw	Net	Homog.
A	m <sup>2</sup>	1.1100	1.0974	1.1603
z <sub>G</sub>	m	0.609	0.609	0.610
y <sub>G</sub>	m	0.609	0.609	0.610
P	m	8.000	-	-
W	T/m	2.775	-	-

*z<sub>G</sub> and y<sub>G</sub> are given respectively with respect to the extreme fiber on the left and at the bottom of the section.*

**Centroidal reference frame**

The central reference frame is positioned at the center of gravity of the gross section. The z-axis is horizontal, oriented to the right and the y-axis is vertical, oriented upwards.

Figura 10: Página de resultados de las propiedades mecánicas.

Al ser las alas de igual longitud,  $I_{zz} = I_{yy}$  y el ángulo principal es exactamente  $\alpha = 45^\circ$ .

## Resultados generales

	Unidad	Bruta	Neta	Hom.
A	m <sup>2</sup>	1.1100	1.0974	1.1603
z <sub>G</sub>	m	0.6095	0.6093	0.6100
y <sub>G</sub>	m	0.6095	0.6093	0.6100
P	m	8.0000	—	—
W	T/m	2.7750	—	—

## Flexión

### 5.2.2.1 Ejes baricéntricos

	Unidad	Bruta	Neta	Hom.
$I_{zz}$	m <sup>4</sup>	0.4030	0.3981	0.4225
$I_{yy}$	m <sup>4</sup>	0.4030	0.3981	0.4225
$v^+$	m	1.3905	1.3907	1.3900
$v^-$	m	0.6095	0.6093	0.6100
$w^+$	m	1.3905	1.3907	1.3900
$w^-$	m	0.6095	0.6093	0.6100

### 5.2.2.2 Ejes principales

	Unidad	Bruta	Neta	Hom.
$I_1$	m <sup>4</sup>	0.6373	0.6297	0.6679
$I_2$	m <sup>4</sup>	0.1687	0.1666	0.1771
$v^+$	m	1.4142	1.4142	1.4142
$v^-$	m	1.4142	1.4142	1.4142
$w^+$	m	0.7644	0.7644	0.7644
$w^-$	m	0.8619	0.8619	0.8619
$\alpha$	°	45.00	45.00	45.00

## Torsión y cortante (MEF)

El centro de cortante ( $y_T = z_T = 0.16$  m) está desplazado hacia la esquina entrante, lejos del centro de gravedad ( $y_G = z_G = 0.61$  m). El alabeo es significativo ( $\Gamma = 0.009$  m<sup>6</sup>). La constante de torsión  $J = 0.032$  m<sup>4</sup> es muy baja — típica de un perfil abierto de pared delgada. La relación  $A_{sz}/A = 0.50/1.11 \approx 0.45$ .

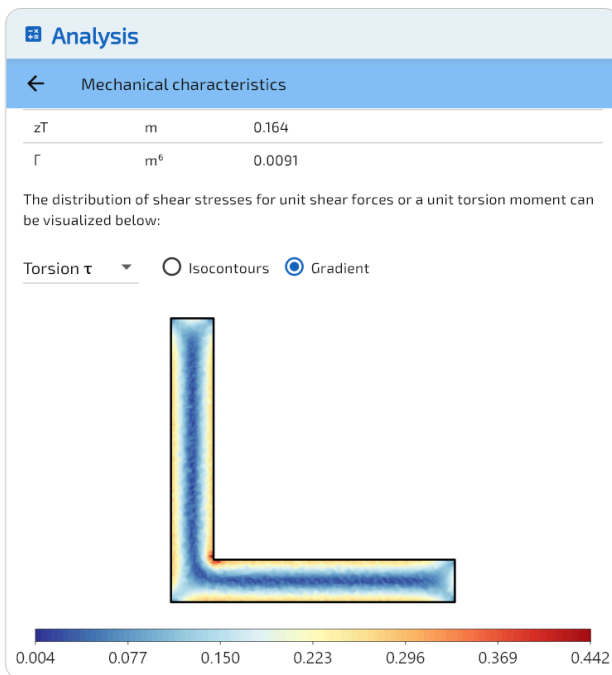


Figura 11: Tensiones de torsión  $\tau$  — singularidad en la esquina entrante. Centro de cortante desplazado.

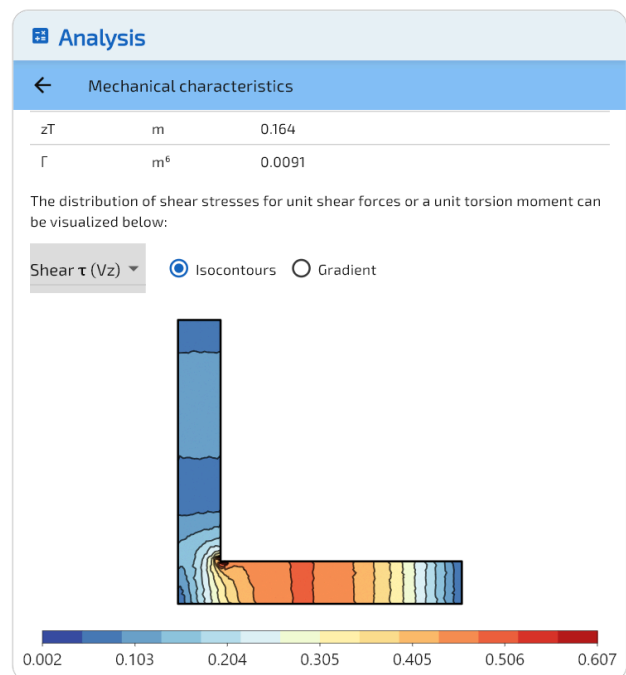


Figura 12: Tensiones de cortante.

	$J$	$A_{sz}$	$A_{sy}$	$y_T$	$z_T$	$\Gamma$
Unidad	m <sup>4</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>6</sup>
Valor	0.0322	0.5037	0.5037	0.1637	0.1637	0.0091

# Validación de los resultados

Los resultados de SectionPro se validan de dos maneras: por comparación con las **fórmulas analíticas** (cuando existen) y por **comparación cruzada** con un software de referencia que utiliza un solucionador de elementos finitos independiente.

## Resumen de las fórmulas analíticas

**Sección cuadrada** ( $a = 2.0$  m)

$$A = a^2 = 4.0000 \quad I = \frac{a^4}{12} = 1.3333 \quad J = 0.1406a^4 = 2.2489 \quad A_s = \frac{5}{6}A = 3.3333$$

La constante de torsión se obtiene mediante las series de Saint-Venant:

$$J = \frac{a^4}{3} \left[ 1 - \frac{192}{\pi^5} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{\tanh(n\pi/2)}{n^5} \right]$$

**Sección circular hueca** ( $R = 1.0$  m,  $r = 0.7$  m)

$$A = \pi(R^2 - r^2) = 1.6022 \quad I = \frac{\pi}{4}(R^4 - r^4) = 0.5968 \quad J = \frac{\pi}{2}(R^4 - r^4) = 1.1936$$

Las áreas de cortante no admiten una fórmula simple; la ecuación diferencial debe resolverse numéricamente.

**Muro en L** ( $L = 2.0$  m,  $t = 0.3$  m)

Por descomposición (ala  $2.0 \times 0.3$  + alma  $0.3 \times 1.7$ ) y teorema de Steiner:

$$A = 1.1100 \quad z_G = y_G = 0.6095 \quad I_{zz} = I_{yy} = 0.4030 \quad \alpha = 45^\circ$$

No existe una fórmula analítica exacta para la torsión, el cortante y el alabeo. La teoría de Vlasov (perfiles abiertos de pared delgada) proporciona sin embargo un orden de magnitud:  $J \approx \frac{1}{3}(2L - t)t^3 = 0.0333$  m<sup>4</sup> y el centro de cortante se sitúa aproximadamente en la intersección de las líneas medias de las alas ( $y_T \approx z_T \approx t/2 = 0.15$  m). Estas estimaciones suponen un espesor infinitamente pequeño respecto a la longitud de las alas; aquí  $t/L = 15\%$ , y los efectos de espesor — en particular la rigidización de la unión en la esquina — desplazan los valores reales respecto a este modelo simplificado.

## Secciones neta y homogeneizada

Para una sección armada con  $N$  barras de acero de sección  $A_{s,i}$  en las coordenadas  $(z_{s,i}, y_{s,i})$ , con un coeficiente de equivalencia  $n$ :

$$A_{\text{net}} = A - \sum_{i=1}^N A_{s,i} \quad A_{\text{hom}} = A + (n-1) \sum_{i=1}^N A_{s,i}$$

El centro de gravedad se desplaza ligeramente (fórmula análoga para  $z_G$ ):

$$y_{G,\text{net}} = \frac{A \cdot y_G - \sum_i A_{s,i} y_{s,i}}{A_{\text{net}}} \quad y_{G,\text{hom}} = \frac{A \cdot y_G + (n-1) \sum_i A_{s,i} y_{s,i}}{A_{\text{hom}}}$$

La inercia se deduce por el teorema de Steiner, teniendo en cuenta el desplazamiento  $\Delta y_G$  entre el centro de gravedad de la sección considerada y el de la sección bruta:

$$I_{zz,\text{net}} = I_{zz} + A(\Delta y_G)^2 - \sum_i A_{s,i} (y_{s,i} - y_{G,\text{net}})^2$$

$$I_{zz,\text{hom}} = I_{zz} + A(\Delta y_G)^2 + (n-1) \sum_i A_{s,i} (y_{s,i} - y_{G,\text{hom}})^2$$

## Validación — Propiedades de flexión

Las fórmulas analíticas anteriores se han aplicado a las tres secciones utilizando las coordenadas exactas de las armaduras exportadas por SectionPro. Todos los resultados coinciden.

Sección	Propiedad	Bruta	$\Delta$	Neta	$\Delta$	Hom.	$\Delta$
Cuadrada	$A$ (m <sup>2</sup> )	4.0000	0.00 %	3.9823	0.00 %	4.0707	0.00 %
	$z_G, y_G$ (m)	1.0000	0.00 %	1.0000	0.00 %	1.0000	0.00 %
	$I_{zz}, I_{yy}$ (m <sup>4</sup> )	1.3333	0.00 %	1.3226	0.00 %	1.3761	0.00 %
Circ. hueca	$A$ (m <sup>2</sup> )	1.6022	0.00 %	1.5871	0.00 %	1.6625	0.00 %
	$z_G, y_G$ (m)	1.0000	0.00 %	1.0000	0.00 %	1.0000	0.00 %
	$I_{zz}, I_{yy}$ (m <sup>4</sup> )	0.5968	0.00 %	0.5913	0.00 %	0.6189	0.00 %
Muro en L	$A$ (m <sup>2</sup> )	1.1100	0.00 %	1.0974	0.00 %	1.1603	0.00 %
	$z_G, y_G$ (m)	0.6095	0.00 %	0.6093	0.00 %	0.6100	0.00 %
	$I_{zz}, I_{yy}$ (m <sup>4</sup> )	0.4030	0.00 %	0.3981	0.00 %	0.4225	0.00 %

## Validación — Torsión y cortante (comparación cruzada)

Las propiedades de torsión y cortante, calculadas por elementos finitos, se comparan con un software de referencia que utiliza un solucionador independiente.

Sección	Propiedad	Analítica	SectionPro	$\Delta$	Ref.	$\Delta$
Cuadrada	$J$ (m <sup>4</sup> )	2.2489	2.2492	0.01 %	2.2585	0.41 %
	$A_{sz}, A_{sy}$ (m <sup>2</sup> )	3.3333	3.3333	0.00 %	3.3355	0.07 %
	$y_T, z_T$ (m)	1.0000	1.0000	0.00 %	1.0000	0.00 %
Circ. hueca	$J$ (m <sup>4</sup> )	1.1936	1.1936	0.00 %	1.1920	0.13 %
	$A_{sz}, A_{sy}$ (m <sup>2</sup> )	—	0.8422	—	0.8418	—
	$y_T, z_T$ (m)	1.0000	1.0000	0.00 %	1.0000	0.00 %
Muro en L	$J$ (m <sup>4</sup> )	—	0.0322	—	0.0328	—
	$A_{sz}$ (m <sup>2</sup> )	—	0.5037	—	0.5054	—
	$A_{sy}$ (m <sup>2</sup> )	—	0.5037	—	0.5024	—
	$y_T, z_T$ (m)	—	0.1637	—	0.1639	—

**Muro en L** — La teoría de Vlasov ( $J \approx 0.033$  m<sup>4</sup>,  $y_T \approx 0.15$  m) proporciona un orden de magnitud comparable, pero sigue siendo una aproximación ya que considera segmentos sin espesor (mientras que  $t/L = 15\%$ ).

## Conclusión

Sección	Validación	Desv. flexión	Desv. torsión (ref.)
Cuadrada	Analítica	0.00 %	0.41 %
Circ. hueca	Analítica + referencia ( $A_{sy}, A_{sz}$ )	0.00 %	0.13 %
Muro en L	Analítica + referencia ( $J, A_{sy}, A_{sz}, y_T, z_T$ )	0.00 %	1.86 %

Las propiedades de flexión (área, centro de gravedad, momentos de inercia) se reproducen con precisión perfecta en las tres geometrías, en sección bruta, neta y homogeneizada (desviación 0.00 % respecto a las fórmulas analíticas).

Las propiedades de torsión y cortante, calculadas por elementos finitos, dependen de la finura del mallado. La comparación cruzada con un software de referencia muestra una muy buena concordancia entre los dos solucionadores. SectionPro presenta además una mejor convergencia, como lo demuestra su correspondencia exacta con las soluciones analíticas de torsión y cortante cuando estas existen.