

# Obtención de las características seccionales de secciones metálicas de pared delgada abiertas

**Antonio José Jiménez Mocholí, Fernando Giménez-Palomares, Andrés Lapuebla-Ferri**  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA  
[ajimene@mes.upv.es](mailto:ajimene@mes.upv.es), [fgimenez@mat.upv.es](mailto:fgimenez@mat.upv.es), [anlafer0@mes.upv.es](mailto:anlafer0@mes.upv.es)

---

## Abstract

*En construcción se utilizan frecuentemente las secciones de pared delgada conformadas en frío a partir de bobinas de chapa que se pliegan por procedimientos mecánicos. Dada la propensión de este tipo de secciones a fenómenos de inestabilidad frente a las tensiones de compresión originadas durante la flexión, es necesario conocer los valores eficaces de las características geométricas de estas secciones. Adicionalmente, como regla general, no es adecuada la elección de perfiles de sección abierta para soportar esfuerzos de torsión importantes, y mucho menos si se trata de secciones de pared delgada. Así, cuando en los cálculos de una estructura se consideran secciones abiertas de pared delgada en las que participe, además de la flexión, la torsión de los elementos, es necesario disponer de parámetros geométricos de las secciones como el módulo de torsión, el módulo de alabeo y la posición del centro de esfuerzos cortantes, entre otros. Se ha desarrollado una aplicación en MATLAB<sup>®</sup>, dirigida a los alumnos del grado en Ingeniería Mecánica y el grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, que permite la obtención de estos parámetros partiendo de la discretización de la geometría de la sección mediante tramos rectos y radios de acuerdo circulares. Se describen los algoritmos de cálculo utilizados para ello y las herramientas gráficas desarrolladas.*

*Thin-walled cold-formed steel sections are widely used in structural design. These sections, however, exhibit instabilities that are caused by compression stresses when a structural member bends. For this reason, it is necessary to know the effective values of the geometrical parameters of these sections, such as area section and moments of inertia. In addition, it is not recommended to choose open-shaped sections to sustain torsional loads, mostly if they are thin-walled sections. When designing a structure with thin-walled, open-shaped sections, it is necessary to use geometrical parameters such as torsional modulus, warping modulus, etc. In this job, an application designed in MATLAB<sup>®</sup> is presented in order to obtain such geometrical parameters. The geometry is discretised, and the algorithms are described. This application, implemented in a graphical way, is aimed to the students of subjects related to mechanical or industrial engineering.*

---

**Keywords:** Secciones de pared delgada, Centro de esfuerzos cortantes, Torsión no uniforme, Módulo de torsión, Módulo de alabeo.

## 1 Introducción

En ingeniería se utilizan frecuentemente las secciones de pared delgada conformadas en frío a partir de una bobina de chapa. Su uso es común en la construcción de estructuras metálicas. La razón de su empleo es que su peso es relativamente menor que el de las secciones macizas laminadas en caliente, y por tanto su precio, también. Las distintas normativas europeas y americanas establecen normativas particulares para el dimensionado de elementos con estas secciones. En el caso concreto de la normativa europea, la parte 1-3 del Eurocódigo 3 *Proyecto de estructuras de acero* está dedicada a las *Reglas generales para piezas y chapas conformadas en frío* ([1]) y en el caso de las normas americanas se tratan en la SEI/ASCE(\*) 8-02 *Especificación for the Design of Cold-Formed Stainless Steel Structural Members* ([2]).

Las secciones de pared delgada se caracterizan porque el espesor de sus elementos planos es muy pequeño comparado con sus otras dos dimensiones y cuando resultan comprimidos, antes del colapso global, presentan fallos locales por abolladura o combadura, que limitan su capacidad resistente. Otros fenómenos de inestabilidad son observados también en las secciones de pared delgada cuando se presenta la torsión ([3] y [4]).

La torsión de elementos de máquinas en ingeniería mecánica es habitual y se resuelve eficazmente utilizando secciones circulares, ya que en el caso de secciones circulares, llenas o huecas, la torsión que se desarrolla en la sección es uniforme y no se presenta el alabeo de la misma. Sin embargo la torsión en las estructuras es, en general, un efecto no deseable por lo que, tal y como sugieren las propias normas, debe evitarse en lo posible mediante las disposiciones constructivas correspondientes.

La actividad que presentamos se ha diseñado para su uso en prácticas de informática de las asignaturas de segundo curso de Elasticidad y Resistencia de Materiales de los títulos de Grado en Ingeniería Mecánica y en Ingeniería en Tecnologías Industriales. Uno de los objetivos propuestos consiste en que el alumno pueda apreciar que los conocimientos que ha adquirido en primer curso sobre álgebra matricial, geometría y cálculo numérico, tienen su importancia en la modelización en la ingeniería.

## 2 Elementos de directriz recta sometidos a torsión

Se dice que una sección de un elemento está sometida a torsión uniforme cuando se cumplen simultáneamente dos condiciones; que la ley de momentos torsores  $M_T(x)$  sea constante a lo largo de toda la longitud de la barra y que no existan restricciones cinemáticas en los puntos de las secciones de la pieza que impidan el libre movimiento longitudinal de los puntos de las secciones. Cuando la torsión es uniforme el único movimiento existente es un giro relativo entre cada dos secciones rectas infinitamente próximas. Cada sección gira alrededor de un eje longitudinal que pasa por un punto denominado centro de torsión, que coincide con el centro de esfuerzos cortantes de la sección, que es un punto característico de la misma, al igual que lo es, por ejemplo, el centro de gravedad. En torsión uniforme, la única tensión generada en los puntos de cada sección es la tensión tangencial  $\tau_{xs}(x)$  asociada al par torsor. El módulo de torsión  $I_t$  de una sección es la constante geométrica característica de la sección que relaciona la rigidez de la sección frente a los momentos torsores.

Si no se cumple alguna de las dos condiciones, se presenta torsión no uniforme. En tal caso, los giros entre dos secciones consecutivas vienen acompañados también por desplazamientos de

los puntos de la sección a lo largo de la dirección longitudinal de la pieza. Estos desplazamientos de alabeo son diferentes para los puntos de dos secciones rectas infinitamente próximas, dando lugar, por tanto, a alargamientos y acortamientos de las fibras. Estas deformaciones longitudinales implican la aparición de tensiones normales  $\sigma_x(x)$ , que pueden ser importantes, acompañando a las tensiones tangenciales propias de la torsión.

Con la única excepción de las secciones circulares, todos los elementos estructurales sometidos a torsión pura alabean. No obstante, conviene aclarar, que cuando en la práctica profesional se calculan elementos sometidos a torsión, no siempre es necesario aplicar la teoría de la torsión no uniforme, aunque esta sea la apropiada para su estado real de tensiones. Es frecuente simplificar el cálculo considerando únicamente la teoría de la torsión uniforme en elementos cuyas secciones no son propensas a alabeo significativamente. Para medir la susceptibilidad de una determinada sección al alabeo por torsión se utiliza una constante geométrica característica de la forma de la misma, denominada módulo de alabeo  $I_a$ .

Ambas constantes, el módulo de torsión  $I_t$  y el módulo de alabeo  $I_a$ , participan en la ecuación diferencial de la torsión no uniforme ([1]):

$$M_T(x) = GI_t \frac{d\varphi(x)}{dx} - EI_a \frac{d^3\varphi(x)}{dx^3},$$

siendo  $\varphi(x)$  el ángulo girado por cada sección y  $E$  y  $G$  las constantes características del material.

En ambos casos, sea la torsión uniforme o no, cuando en los cálculos de una estructura se considera la torsión de las barras que la forman es necesario disponer, como mínimo, de tres parámetros geométricos de las secciones como son: el módulo de torsión  $I_t$ , el módulo de alabeo  $I_a$  y la posición del centro de esfuerzos cortantes. Los programas de análisis de estructuras empleados habitualmente requieren de ellos si se desea incluir la torsión en los cálculos. La aplicación desarrollada por los autores en MATLAB<sup>®</sup> permite la obtención de estos parámetros de la sección. Para ello se ha discretizado la geometría de la sección abierta de pared delgada en un número finito de tramos rectilíneos unidos mediante tramos curvos, todos ellos de espesor pequeño, aunque no necesariamente constante.

### 3 Comportamiento resistente a flexión y torsión de secciones de paredes delgadas

La comparación de los valores del módulo de alabeo  $I_a$  de la sección frente al módulo de torsión  $I_t$  puede usarse como procedimiento orientativo del grado de susceptibilidad del alabeo de la sección. En general, se puede simplificar el cálculo torsional si el módulo de alabeo  $I_a$  es pequeño frente al módulo de torsión  $I_t$ . Dentro del grupo de secciones cuyo alabeo es muy pequeño se encuentran las secciones macizas o las secciones cerradas de pared delgada. Por ello, cuando una barra deba transmitir, entre otros esfuerzos, momentos torsores conviene dimensionarla con perfiles de pequeño módulo de alabeo. Si las condiciones de diseño exigen utilizar secciones abiertas, se deberá tener en cuenta la posibilidad de que exista alabeo. En este sentido algunos textos especializados en estructuras metálicas ([5] y [6]) establecen recomendaciones sobre relaciones a partir de las cuales es posible despreciar el alabeo de la torsión no uniforme:

$$L \sqrt{\frac{GI_t}{EI_a}} > 6,$$

siendo  $L$  la longitud de la pieza.

El problema del alabeo de las secciones es notorio en el caso de secciones abiertas de pared delgada. Pero este mal comportamiento a torsión de estas secciones no es el único inconveniente que limita notablemente la capacidad resistente de las piezas diseñadas con este tipo de secciones. Las secciones abiertas de pared delgada también presentan problemas cuando son sometidas a momentos flectores o a esfuerzos axiales de compresión. Estas secciones tienen una especial susceptibilidad a fenómenos de inestabilidad, en concreto, a la abolladura local y a la combadura, o pandeo lateral. Podríamos decir que el espesor de los elementos que las forman es tan pequeño que cuando resultan comprimidos, total o parcialmente, aparecen fallos locales antes de que se alcance el límite elástico del material. En el caso concreto de la normativa europea, la parte 1-3 del Eurocódigo 3 *Diseño de estructuras de acero* está dedicada a las *Reglas generales para piezas y chapas conformadas en frío*. A efectos prácticos se considera que en las secciones abiertas de pared delgada solo los pliegues y zonas adyacentes son suficientemente rígidos para resistir las compresiones sin sufrir abolladura, mientras que las zonas planas del perfil son especialmente susceptibles a ello, por lo que deben eliminarse la contribución de las mismas a las características geométricas resistentes de la sección. Por este motivo, en las secciones abiertas de pared delgada, se habla de valores eficaces de área e inercia, en lugar de los valores brutos. La aplicación que ha sido desarrollada permite la modelización de estos tramos no resistentes de la sección asignándoles espesor nulo, sin que por ello, la sección pierda la continuidad física material. En este contexto, se ha desarrollado un laboratorio virtual generado como una GUI de MATLAB<sup>®</sup> (Graphical User Interface) como una herramienta educativa ([7]). Este software es adecuado para ser utilizado en las titulaciones de Ingeniería y Arquitectura.

## 4 Descripción del trabajo

Se desarrolla un método de cálculo numérico iterativo aplicable a secciones abiertas no ramificadas, compuestas de diferentes tramos rectos, de espesor constante en cada tramo, unidos entre sí mediante tramos curvos de radio constante. La aplicación obtiene las principales constantes geométricas de la sección: área, momentos y productos de inercia, momentos de inercia principales, radios de giro, módulo de torsión y módulo de alabeo, posición del centro de gravedad, posición de los ejes principales de inercia y posición del centro de esfuerzos cortantes. Estos parámetros son necesarios en el cálculo resistente de las piezas.

### 4.1 Modelización geométrica de la sección

Consideremos una sección de chapa conformada cualquiera. En primer lugar, se considera el perfil lo suficientemente delgado como para quedar reducido a su línea media (Figura 1a). Se aproximan las partes curvas de la figura por segmentos rectilíneos (Figura 1b). Se trabaja con un sistema de coordenadas  $X'Y'$  de modo que todos los vértices de la sección se encuentren en el primer cuadrante. Los segmentos se denotarán por números pares  $i = 2, 4, \dots, 2n$ . Sean

$$(x'_1, y'_1), (x'_3, y'_3), \dots, (x'_{2n+1}, y'_{2n+1}),$$

los  $n + 1$  vértices,

$$(x'_2, y'_2), (x'_4, y'_4), \dots, (x'_{2n}, y'_{2n}),$$

los  $n$  puntos medios de los segmentos,  $e_2, e_4, \dots, e_{2n}$ , los espesores e  $I_2, I_4, \dots, I_{2n}$  las longitudes de los segmentos correspondientes.

## 4.2 Cálculo de las constantes geométricas

Se ha utilizado el procedimiento numérico descrito en el anexo 4.A1 de la referencia [6]. Algunas constantes se calculan directamente:

$$\text{Área de la figura: } A = \sum_{i=2,4,\dots,2n} I_i e_i.$$

$$\text{El centro de gravedad: } (x_G, y_G) = \sum_{i=2,4,\dots,2n} I_i e_i (x_i, y_i).$$

$$\text{Módulo de torsión: } I_t = \sum_{i=2,4,\dots,2n} I_i e_i^3.$$

En lo que sigue trabajaremos con coordenadas baricéntricas  $(x_i, y_i) = (x'_i, y'_i) - (x_G, y_G)$ . Para calcular los momentos de inercia  $I_x$ ,  $I_y$  e  $I_{xy}$  usaremos las siguientes fórmulas recursivas: para  $i = 2, 4, \dots, 2n$

$$A_i = A_{i+1} = \frac{l_i e_i}{2}, \quad A_1 = 0,$$

$$S_{x,i} = S_{x,i+1} + \frac{A_i}{4}(y_{i+1} + 3y_{i-1}), \quad S_{x,1} = 0, \quad S_{x,i+1} = S_{x,i-1} + A_i(y_{i+1} + y_{i-1}),$$

$$S_{y,i} = S_{y,i+1} + \frac{A_i}{4}(x_{i+1} + 3x_{i-1}), \quad S_{y,1} = 0, \quad S_{y,i+1} = S_{y,i-1} + A_i(x_{i+1} + x_{i-1}),$$

$$R_{x,i} = \frac{1}{6}(S_{x,i+1} + 4S_{x,i} + S_{x,i-1}), \quad R_{y,i} = \frac{1}{6}(S_{y,i+1} + 4S_{y,i} + S_{y,i-1}),$$

$$I_x = - \sum_{i=2,4,\dots,2n} R_{x,i}(y_{i+1} - y_{i-1}), \quad I_y = - \sum_{i=2,4,\dots,2n} R_{y,i}(x_{i+1} - x_{i-1}),$$

$$I_{xy} = - \sum_{i=2,4,\dots,2n} R_{x,i}(x_{i+1} - x_{i-1}),$$

Calculamos ahora el centro de esfuerzos cortantes  $(x_C, y_C)$  a partir de áreas sectoriales: para  $i = 2, 4, \dots, 2n$

$$\Omega_{0,i} = \Omega_{0,i-1} + \frac{1}{2}(x_{i-1}y_{i+1} - x_{i+1}y_{i-1}), \quad \Omega_{0,i} = 0, \quad \Omega_{0,i+1} = \Omega_{0,i-1} + \frac{1}{2}(x_{i-1}y_{i+1} - x_{i+1}y_{i-1}),$$

$$I_{x,0} = - \sum_{i=2,4,\dots,2n} R_{x,i}(\Omega_{0,i+1} - \Omega_{0,i-1}), \quad I_{y,0} = - \sum_{i=2,4,\dots,2n} R_{y,i}(\Omega_{0,i+1} - \Omega_{0,i-1}),$$

$$x_C = \frac{I_y I_{xa} - I_{xy} - I_{xy} I_{ya}}{I_x I_y - I_{xy}^2}, \quad y_C = \frac{-I_x I_{ya} - I_{xy} - I_{xy} I_{xa}}{I_x I_y - I_{xy}^2}.$$

Finalmente calculamos el módulo de alabeo  $I_a$ :

$$\Omega_1 = -\frac{1}{A} \sum_{i=2,4,\dots,2n} A_i (\Omega_{0,i+1} + \Omega_{0,i-1} - x_C(y_{i+1} + y_{i-1} - 2y_1) + y_C(x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_1)),$$

para  $i = 2, 4, \dots, 2n$

$$\Omega_i = \Omega_1 + \Omega_{0,i} - \frac{1}{2}x_C(y_{i+1} + y_{i-1} - 2y_1) + \frac{1}{2}y_C(x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_1),$$

$$\begin{aligned}\Omega_{i+1} &= \Omega_1 + \Omega_{0,i+1} - x_C(y_{i+1} - y_1) + y_C(x_{i+1} - x_1), \\ S_{a,i} &= S_{a,i-1} + \frac{1}{2}A_i(\Omega_1 + \Omega_{i-1}), \quad S_{a,i} = 0, \quad S_{a,i+1} = S_{a,i} + \frac{1}{2}A_i(\Omega_{i+1} + \Omega_i), \\ R_{a,i} &= \frac{1}{6}(S_{a,i+1} + 4S_{a,i} + S_{a,i-1}), \\ I_a &= - \sum_{i=2,4,\dots,2n} R_{a,i}(\Omega_{i+1} - \Omega_{i-1}).\end{aligned}$$

### 4.3 Descripción de la aplicación

El aspecto gráfico de la aplicación se muestra en la Figura 2. El programa implementa el procedimiento descrito en 4.2 a una sección de chapa obtenida por unión de tramos rectos y curvos. El laboratorio virtual permite introducir fácilmente la geometría de la sección a estudiar, obteniéndose las principales constantes que la describen y una gráfica de la sección, los ejes coordenados utilizados, los centros de gravedad y de cortantes y los ejes principales de inercia. Los parámetros de entrada son los siguientes:

- **MATRIZ DE PUNTOS:** Se trata de una matriz de la forma:

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & r_1 & \theta_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_i & y_i & r_i & \theta_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix},$$

donde son las coordenadas del primer punto de cada segmento rectilíneo y  $(r_i, \theta_i)$  corresponden a los parámetros que definen el trozo de circunferencia adyacente. En el caso de que los segmentos rectilíneos se unan sin radios de acuerdo las coordenadas  $(r_i, \theta_i)$  son  $(0, 0)$ .

- **ESPESOR FIJO / VECTOR DE ESPESORES:** permite generar el vector de espesores  $(e_1, e_2, \dots, e_n)$ . Si la entrada es un único valor  $e$  automáticamente se genera el vector  $(e, e, \dots, e)$ . Como salida se obtienen los valores de las siguientes constantes: coordenadas del centro de gravedad (CDG), área, momentos de inercia y productos de inercia ( $I_x, I_y$  e  $I_{xy}$ ), radios de giro ( $r_x$  y  $r_y$ ), momentos principales de inercia ( $I_1$  e  $I_2$ ), ángulo entre los ejes principales de inercia ( $\alpha$ ), radios de giro principales ( $r_1$  y  $r_2$ ), coordenadas del centro de esfuerzos cortantes (CEC) respecto al centro de gravedad, módulo de torsión ( $I_t$ ) y módulo de alabeo ( $I_a$ ). Además se representan gráficamente la geometría del perfil incluyendo la posición de los ejes coordenados, los ejes principales de inercia, el centro de gravedad y el centro de esfuerzos cortantes.

**Ejemplo.** Para ilustrar la introducción de datos en la aplicación, consideraremos un perfil de chapa conformada del tipo de lados desiguales, en concreto el perfil LF 100.50.6, cuyos lados miden 50 y 100 mm y su espesor es constante y de valor 6 mm. Para introducir la geometría del perfil son necesarios 4 puntos (Figura 3) de la línea media del perfil. La matriz de puntos tiene la forma:

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & r_1 & \theta_1 \\ x_2 & y_2 & r_2 & \theta_2 \\ x_3 & y_3 & r_3 & \theta_3 \\ x_4 & y_4 & r_4 & \theta_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 & 0.3 & 0 & 0 \\ 1.3 & 0 & 1 & -\frac{\pi}{2} \\ 0.3 & 1.3 & 0 & 0 \\ 0.3 & 10 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

y el vector de espesores se construye automáticamente al introducir el espesor constante de la chapa.

Todos las características geométricas detalladas en el apartado anterior aparecen reflejadas en la ventana de la aplicación (Figura 2).

## 5 Resultados

Se han comprobado diversos tipos de perfiles normalizados de chapa conformada, cuyos valores teóricos de las constantes geométricas son conocidos: LF 100.50.6, OF 100.3.0 y CF 100.2.0 (Figuras 2, 4 y 5). Las tablas siguientes muestran una comparativa de los resultados teóricos con los aproximados obtenidos de la aplicación.

LF 100.50.6	$x_{CDG}$	$y_{CDG}$	Área	$I_x$	$I_y$	$I_{xy}$	$I_1$	$I_2$	$\alpha^\circ$	$I_t$	$I_a$
<b>Valores normalizados</b>	1,11	3,71	8,30	86,20	15,60	22,70	92,90	8,90	16°33		
<b>Valores obtenidos</b>	1,095 6	3,672 5	8,382 5	87,210 5	15,471 7	22,450 1	93,656 9	9,025 4	16,020 9	1,005 9	0,0563 2
<b>Error relativo (%)</b>	1,30	1,01	0,99	1,17	0,82	1,10	0,81	1,41	1,89	1,30	1,01

OF 100.3.0	$y_{CDG}$	$y_{CEC}$	Área	$I_x$	$I_y$	$I_t$	$I_a$
<b>Valores normalizados</b>	4,83	8,45	8,71	113,00	59,00	0,261	539,00
<b>Valores obtenidos</b>	4,8344	8,3468	8,7855	115,0745	59,4099	0,26356	548,1471
<b>Error relativo (%)</b>	0,09	1,22	0,87	1,84	0,69	0,98	1,70

CF 100.2.0	$x_{CDG}$	$x_{CEC}$	Área	$I_x$	$I_y$	$I_t$	$I_a$
<b>Valores normalizados</b>	1,32	3,14	3,92	59,2	8,67	0,0523	189
<b>Valores obtenidos</b>	1,3273	3,139	3,9542	60,056	8,8138	0,052722	194,1485
<b>Error relativo (%)</b>	0,55	0,03	0,87	1,45	1,66	0,81	2,72

## 6 Conclusiones

Se ha desarrollado una aplicación abierta al usuario con el fin de obtener las constantes geométricas características de secciones no ramificadas de chapa conformada en frío que intervienen en los cálculos estructurales, testeándose con algunos de los perfiles normalizados más usuales. Los resultados numéricos obtenidos proporcionan valores muy cercanos a los teóricos, siendo los errores observados para la mayoría de los valores inferiores al 2%. Este valor confirma la bondad del procedimiento numérico utilizado. La aplicación que ha sido de-

sarrollada también permite la modelización del comportamiento a flexión de estas secciones y la obtención de las correspondientes características eficaces de las mismas, sin más que asignar espesor nulo a las zonas propensas a sufrir abolladura, sin que por ello, la sección pierda la continuidad física material. La herramienta puede ser útil desde el punto de vista docente en asignaturas relacionadas con cálculo y dimensionamiento seccional como, por ejemplo, Elasticidad y Resistencia de Materiales. La aplicación queda disponible para la libre utilización del alumno, sin necesidad de recurrir a paquetes de software comercial, de elevado coste, que lleven integrados esta aplicación entre sus prestaciones.

**Agradecimientos.** Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación (DPI2008-02953) y a la Universidad Politécnica de Valencia (PAID-06-08) su apoyo financiero.

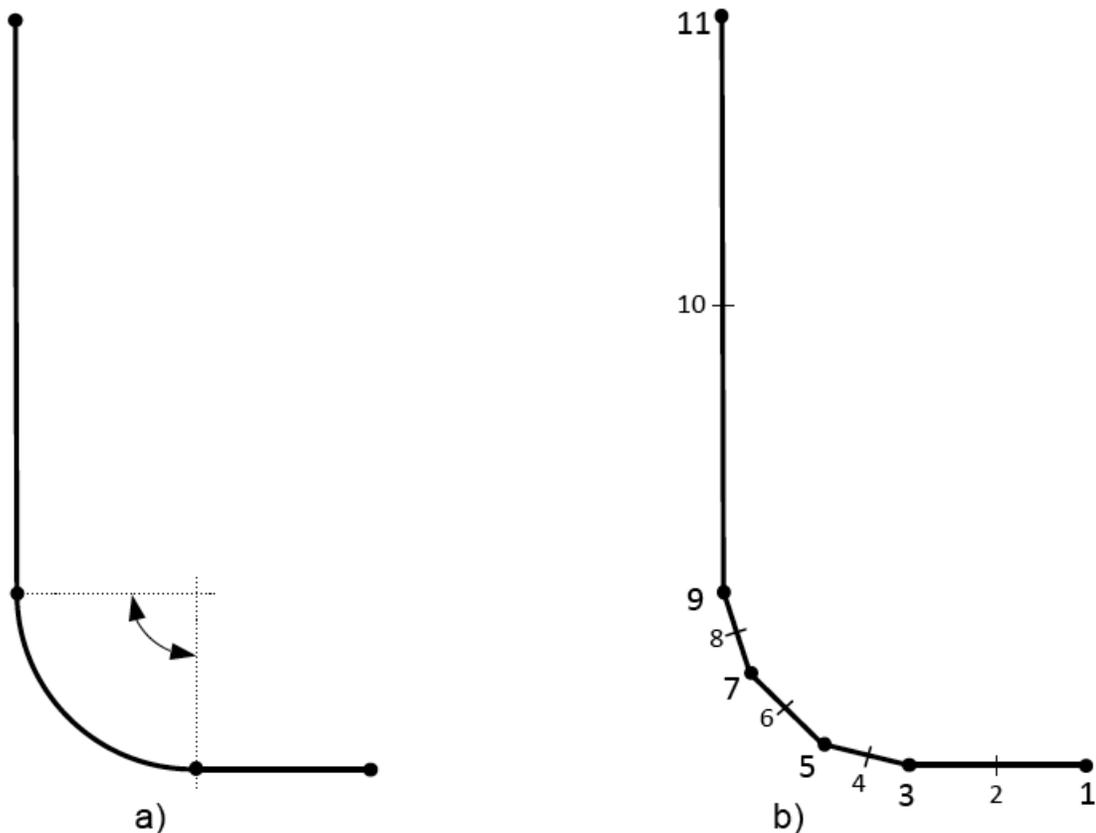


Figura 1: Perfil LF: modelización geométrica y discretización.

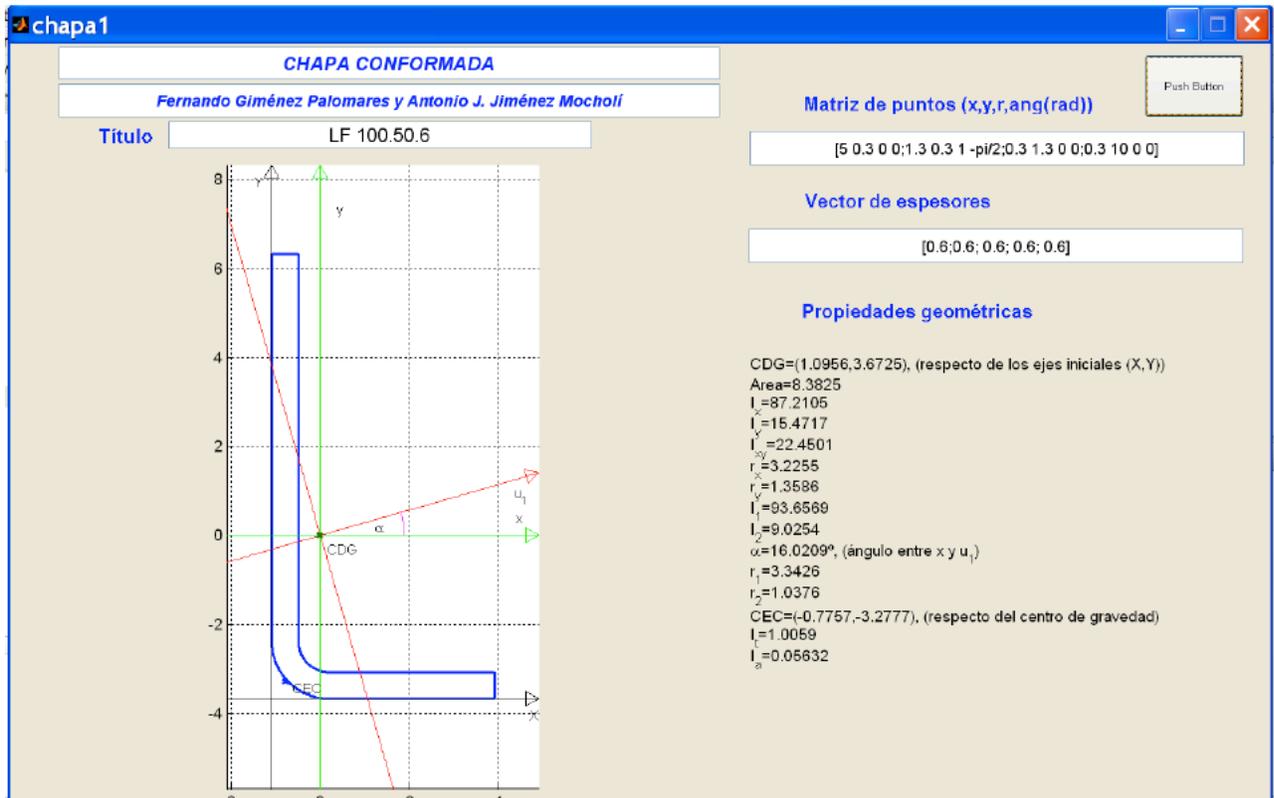


Figura 2: Perfil LF 100.50.6: Ejes principales y constantes geométricas de la sección.

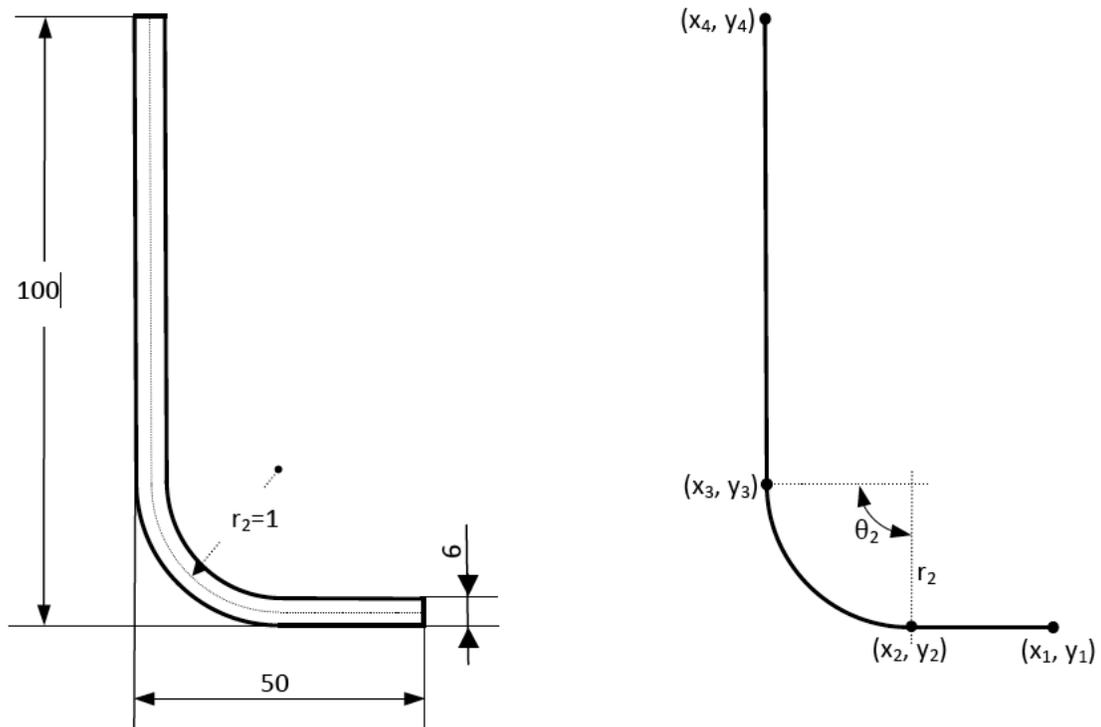


Figura 3: Perfil LF 100.50.6: dimensiones y parámetros de la matriz de puntos.

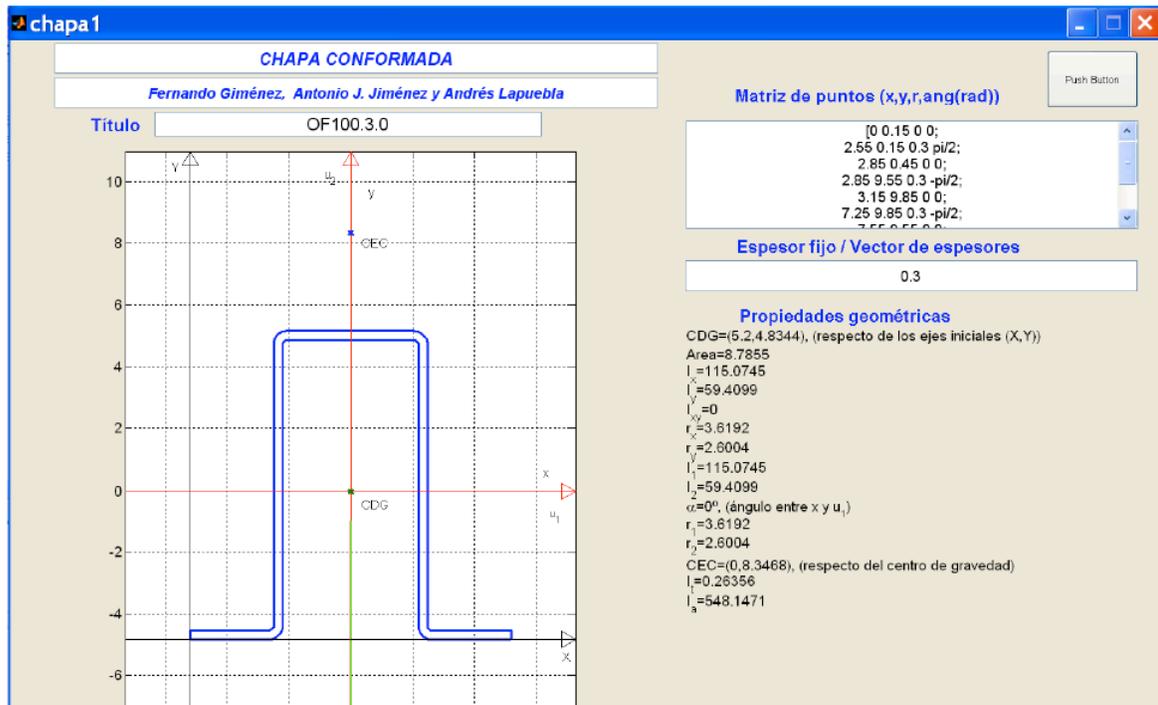


Figura 4: Perfil OF 100.3.0: Ejes principales y constantes geométricas de la sección.

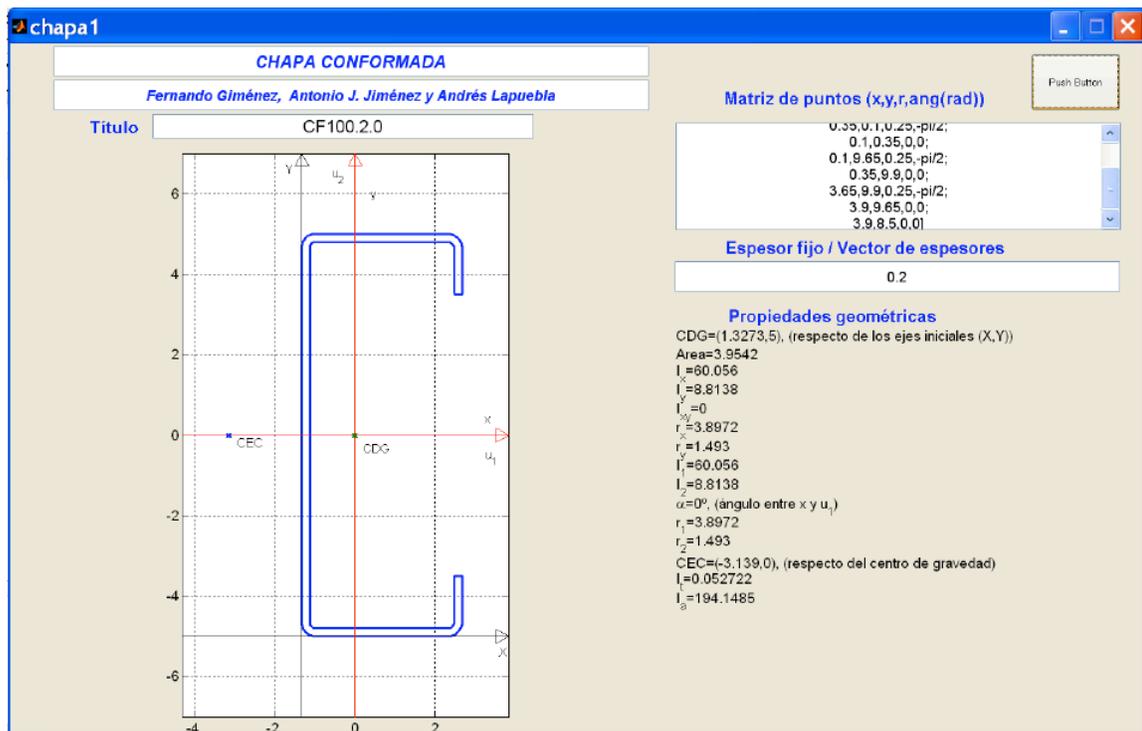


Figura 5: Perfil CF 100.2.0: Ejes principales y constantes geométricas de la sección.

# Referencias

- [1] Eurocódigo 3, *Proyecto de Estructuras de Acero. Parte 1-3: Reglas generales para piezas y chapas conformadas en frío*. Comité Europeo para la Normalización. 2005.
- [2] Código Técnico de la Edificación. Documento Básico SE-A: Seguridad Estructural Acero. Ministerio de la Vivienda. 2006.
- [3] Marco García, J., *Fundamentos para el Cálculo y Diseño de Estructuras Metálicas de Acero Laminado*. Editorial McGraw-Hill. 1998.
- [4] Monfort Leonart, J., *Estructuras Metálicas para edificación. Tomos I y II*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. 2002.
- [5] Garrido García, J. A.; Foces Mediavila, A., *Resistencia de Materiales*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Valladolid. 1994.
- [6] *Norma Básica de la Edificación NBE EA-95. Estructuras de Acero en Edificación*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. 1995.
- [7] Depcik, C.; Assanis, D.N, *Graphical user interfaces in an engineering educational environment*- Comput. Appl. Eng. Educ. Vol. 13, 2005.

