

ThinSecBeam – Manual de Usuario

“Thin-walled Sections of Beams”
Notas a la versión 1.0 (octubre 2019)

© 2019 Juan Carlos del Caño
Ingeniero Industrial - Profesor Titular de Universidad

Al igual que en la versión estable previa del programa (v0.8), el autor agradece a sus compañeros del Área de Mecánica de Medios Continuos y Estructuras en la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid, profesores Antonio Foces, Jesús Magdaleno, Antolín Lorenzana, Mariano Cacho, Alvaro Magdaleno, Estrella Requejo y José Pereda, su apoyo continuado en el desarrollo de la presente versión 1.0.

Prólogo y Licencia

Se ha pretendido que el programa resulte en gran medida auto explicativo. Las instrucciones abreviadas incluidas en la interfaz y el diseño intuitivo de la misma facilitarán que cualquier persona familiarizada con el concepto de “sección de pared delgada” pueda ser productivo sin consultar fuentes externas. Este manual ofrece explicaciones algo más elaboradas que la interfaz, e información sobre aspectos adicionales, destacadamente la instalación del programa.

El programa ThinSecBeam (“Thin-walled Sections of Beams”) analiza secciones de barras con función resistente bajo la hipótesis de pared delgada. Dicha hipótesis es considerada usualmente la más apropiada en el análisis de estructuras metálicas, ya que las secciones de las vigas metálicas suelen tener efectivamente espesores de pared mucho menores que las dimensiones exteriores de la propia sección. Dicha hipótesis no se cuestiona aquí y es usada por el programa de forma consistente tanto en lo relativo a geometría como a tensiones. El usuario debe juzgar en primer lugar si el modelo de pared delgada es de aplicación razonable a su caso concreto.

El programa se plantea con la doble intención de ser una herramienta de cálculo fiable y también un recurso útil en el estudio de la Resistencia de Materiales tal como se entiende en las universidades de nuestro entorno.

El programa calcula prácticamente todo lo que es posible calcular en régimen lineal conociendo únicamente características de la sección: calcula el centro de áreas, los ejes principales, las inercias y módulos resistentes, el núcleo central, la constante de torsión, el módulo de alabeo, el centro de esfuerzos cortantes, y las áreas a cortante. Si se proporcionan valores para algunos o todos los esfuerzos (cortante, axil, flector, torsor), se obtienen además varias gráficas de alto valor ilustrativo, que incluyen gráficas 3D practicables del alabeo de la sección. La salida de texto ofrece información adicional (coordenadas del núcleo central, tensor de giros a cortante etc).

La implementación realizada para el análisis de tensiones tangenciales y desplazamientos de alabeo (asociados a la torsión y/o a la flexión) es original y tiene la ventaja respecto de los enfoques habituales en la literatura de no verse afectada por la presencia o no de bucles cerrados en el perfil.

Los aspectos del análisis resistente que son dependientes de la tercera dimensión de la barra (su longitud) caen fuera del ámbito del programa tal como se ha planteado. Tales son por ejemplo la torsión no uniforme y la posible inestabilidad de las paredes del perfil. No obstante el informe de texto, si se solicita, ofrece alguna orientación sobre este último aspecto.

En su presente versión 1.0 el programa se considera “completo” en el sentido de que implementa

todas las características que se planearon inicialmente, aunque se contemplan aspectos adicionales a implementar en futuras versiones. En comparación con la anterior versión 0.8 estable, la presente versión 1.0 incluye tramos circulares, una mejora considerada crítica. Su implementación es además exacta en cuanto al modelo de pared delgada (todos los cálculos relacionados utilizan expresiones analíticas, obtenidas usando el manipulador simbólico SymPy cuando ha sido necesario). Ello posibilita el describir la sección usando muy pocos tramos, con la consiguiente simplificación en la entrada de datos. La interfaz ha sido totalmente renovada y ahora permite modificar los datos de un problema y analizar sucesivos casos de carga tantas veces como se desee en la misma sesión.

Debido a las mejoras anteriores, los ficheros de datos de la versión 0.8 de ThinSecBeam no son compatibles con los de la presente versión 1.0. Se espera que ello no suponga un inconveniente real dado que el proceso de entrada de datos está tan simplificado como ha cabido imaginar y habitualmente conlleva muy poco tiempo y esfuerzo por parte del usuario.

El programa ThinSecBeam es Software Libre, ofrecido bajo la licencia GPL estándar. Se basa a su vez en herramientas libres ofrecidas bajo licencias similares y que permiten su redistribución. Destacadamente son: Python3 (el lenguaje de programación utilizado), Tk, NumPy, SciPy, SymPy & Matplotlib. Merece también un reconocimiento el editor Geany utilizado en la edición, y por supuesto todo el software que forma el sistema operativo Gnu-Linux, plataforma en la que el programa ha sido desarrollado.

El uso de software libre (“Free Software”) otorga al usuario algunos derechos pero también conlleva algunas obligaciones. Consulte la opción 'Licencia' en la interfaz del programa o bien lea la cabecera del código para más detalles.

Por su parte, este manual se ofrece bajo la licencia siguiente:

El presente documento se ofrece bajo la licencia “Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported” de Creative Commons. Se trata de una licencia pensada para compartir, y no tanto para restringir las condiciones de utilización. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/> o bien escriba una carta a Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, USA.



En resumen, dicha licencia establece que Ud. es libre de:

- Compartir - copiar, distribuir y transmitir este trabajo.
- Reutilizar - adaptar el trabajo y hacer obras derivadas.

Bajo las siguientes condiciones:

- Atribución (“BY”)- Ud. debe atribuir este trabajo a sus autores en la manera especificada por ellos (pero no de una manera que sugiera que los autores le respaldan a Ud. o al uso que Ud. hace del trabajo de ellos). En este caso, debe atribuir la autoría a “Juan Carlos del Caño, profesor titular en la Escuela de Ing. Industriales de la Universidad de Valladolid”.
- No comercial (“NC”)- Ud. no debe usar este trabajo para fines comerciales.
- Compartir de la misma manera (“SA”)- Si Ud. transforma, o hace una obra derivada de este trabajo, Ud. puede distribuir el resultado únicamente bajo una licencia como la presente.

Instalación

Lo primero es conseguir el programa.-

Se trata de un único fichero llamado ThinSecBeam_10.py, que es el mismo para cualquier plataforma (Linux, Windows, Mac, BSD, etc.) La presente versión 1.0 parece funcionar bien y se considera estable aunque ciertamente siempre podrán existir errores. El autor no tiene objeciones a que el programa se consiga a través de copias de segunda instancia o posteriores, pero evidentemente el mismo no puede controlar posibles modificaciones (preocupan las maliciosas) hechas al código en esas circunstancias. Por ese simple motivo se recomienda conseguir la copia en la página de descarga <https://eii.uva.es/reic/thinsecbeam> o directamente del autor, que estará encantado de atenderle en jcarlosc@eii.uva.es.

Parece que lo segundo sería instalar el programa.-

... pero actualmente no hay tal cosa que se pueda llamar “instalar” el programa. Probablemente habrá un “instalador” en el futuro pero no será porque el autor lo desee especialmente. Si ello ocurre será más bien por la eventual presión de las circunstancias y los usos comunes.

La principal desventaja de un instalador, especialmente si el programa se usa en el ámbito docente, es que pone distancia entre el código y el usuario. El que el usuario tenga accesible el código de forma natural y eventualmente tenga curiosidad por estudiarlo y aprender de él se considera un valor añadido importante en ese ámbito.

La manera prevista de ejecutar el programa es instalar primero las dependencias que necesita. Esto proporciona de paso un entorno de ejecución para otros programas que tengan esas dependencias (sin tener que duplicarlas), y sobre todo un entorno de programación por si se desea estudiar o modificar el código del programa, o escribir programas nuevos etc.

Se ha procurado que ThinSecBeam tenga tan pocas dependencias como ha sido razonablemente posible: aparte de Python3 (el lenguaje de programación utilizado), el programa usa la librería Matplotlib para los trazados gráficos. Ésta a su vez depende de otras como son NumPy, SciPy, Tk. Ya que estas últimas se necesitaban de todas formas, se ha hecho uso de ellas (y sólo de ellas) para implementar las demás funcionalidades del programa. Como resultado el usuario sólo tendría que ocuparse de que Python3 y Matplotlib estén disponibles y operativos en el sistema.

La manera recomendada para hacer disponibles las dependencias depende de la plataforma, según se indica en los párrafos siguientes. Los procedimientos recomendados son los más “ligeros” y ocuparán unos 120Mb de espacio en disco. Los otros procedimientos mencionados ocuparán más pero ofrecerán funcionalidades adicionales (no directamente relacionadas con ThinSecBeam en todo caso).

Sistemas GNU-LINUX ®

Si usted usa Linux habrá reconocido en lo anterior la manera normal de hacer las cosas en este entorno, y no habrá que explicarle que hay buenas razones para ello. Simplemente use el gestor de paquetes de su distribución para instalar aquello que no tenga ya instalado entre lo mencionado. Si algo no va bien, al ejecutar el programa podrá ver en el terminal lo que falta e instalarlo. Por ejemplo para sistemas Debian y derivados (Ubuntu etc), el siguiente comando resultó suficiente:

```
sudo apt install python3, python3-tk, python3-matplotlib
```

Después ejecute el archivo ThinSecBeam_10.py de la manera que prefiera (desde terminal con `python3 ThinSecBeam_10.py` o desde su gestor de archivos, etc).

Para estos sistemas hay varias formas, todas ellas válidas, de hacer disponible Python 3. El procedimiento recomendado es acceder a la página <https://www.python.org/downloads/> y pulsar el botón correspondiente a la descarga de la versión 3 (será la versión 3.6 o una posterior). Obtendrá automáticamente la descarga correcta para su versión del sistema operativo. Instale siguiendo las instrucciones, *sin olvidar marcar la casilla de “Añadir Python 3 al path del sistema”*. Puede usted marcar (o no) la casilla de “Hacer Python 3 disponible para todos los usuarios” según su preferencia y necesidades.

Nota: el instalador coloca python en un subdirectorio de muchos niveles de profundidad en el sistema de archivos. Windows aún tiene de serie una (ridícula) limitación de la variable PATH a 260 caracteres. Si usted tiene dicha variable ya bastante llena puede suceder que el path de python no quepa y como resultado no se haga disponible en el sistema. Si el instalador de python le muestra una casilla para intentar eliminar dicha limitación, márquela y si todo va bien la limitación se ampliará a 23000 caracteres. En todo caso usted puede realizar manualmente esta acción desde el propio Windows.

Actualización: desde la versión 3.6.3 de Python el problema ha dejado de observarse y la variable PATH se asigna correctamente en todos los casos.

Una vez instalado Python 3, estará disponible el programa “pip3”, que es una especie de gestor de paquetes particular de Python. Abra una ventana de “símbolo del sistema” y teclee la orden

```
pip3 install matplotlib
```

Lo anterior instalará como dependencias secundarias todo lo que ThinSecBeam necesita para funcionar. Ya debería ser posible ejecutar el fichero ThinSecBeam_10.py como un programa desde el navegador de archivos (botón derecho del ratón, “abrir con...” y elegir Python), o desde la ventana del símbolo del sistema posicionándose en el directorio donde está el fichero y tecleando la orden

```
python ThinSecBeam_10.py
```

Si algo falla es probablemente porque alguna dependencia no se ha instalado como se espera. Si ha ejecutado el programa desde el símbolo del sistema, el mismo le indicará qué es lo que falta (quizá sea numpy, scipy ó tk). Instale con pip3 lo que proceda (por ej. **pip3 install tk** o similar).

Otra alternativa para hacer Python 3 disponible en su sistema es instalar alguna distribución de Python. En el momento de escribir estas notas “Anaconda” es una de las más populares. Está disponible en <https://docs.continuum.io/anaconda>

Existe una versión reducida llamada “Miniconda” <https://conda.io/miniconda.html> que a efectos de ejecutar ThinSecBeam es igualmente válida. Instale una de las dos *como administrador*. Después abra el terminal de Anaconda (o Miniconda) y ejecute:

```
conda install matplotlib
```

Ello instalará (previsiblemente) las dependencias necesarias.

Después ejecute en el fichero ThinSecBeam_10.py mediante alguno de los procedimientos indicados anteriormente. La primera vez que vaya a ejecutarlo es probable que su sistema operativo le pregunte con qué aplicación debería “abrir” este fichero. Usted debe especificar la ruta al ejecutable llamado “python” (será python.exe) que se encuentra en la carpeta donde haya instalado Anaconda / Miniconda. Si por ejemplo usted ha instalado Miniconda, el ejecutable “python” probablemente estará dentro de la carpeta “Miniconda3” que a su vez estará dentro de su directorio de usuario.

Lo anterior será necesario sólo la primera vez. Para ocasiones sucesivas el sistema operativo

recordará (o usted hará que recuerde) que ThinSecBeam_10.py se abre con python (ese ejecutable python en particular). Podrá hacer doble click o seguir cualquier procedimiento usual para ejecutar el programa. También puede crear un acceso de escritorio si lo desea, etc.

Si todo ha ido bien, usted no necesitará volver a ocuparse de Anaconda / Miniconda para ejecutar el programa. Si faltase alguna dependencia puede correr el programa desde el terminal de Anaconda (o desde el "símbolo del sistema") con `ruta\al\ejecutable\python ThinSecBeam08.py` para ver cuál es, y luego instalarla con `conda install xyzt` de forma similar a como hizo con matplotlib.

Sistemas MAC ®

Si usted usa Mac y ha necesitado algo más que lo que el fabricante ofrece de serie, es muy probable que tenga instalado el popular programa HomeBrew, el cual proporciona una funcionalidad similar a un gestor de paquetes al uso en las distribuciones Gnu-Linux. Si es así, el procedimiento recomendado es instalar Python3 usando HomeBrew desde el terminal con la siguiente orden:

```
brew install python3
```

Si no tiene instalado HomeBrew pero le gustaría conseguirlo (puede merecer la pena), el mismo está disponible en su web https://brew.sh/index_es.html. Si no lo tiene ni le gustaría instalarlo, el procedimiento recomendado para instalar Python3 es similar al indicado para Windows: acceder a la página <https://www.python.org/downloads/> y pulsar el botón correspondiente a la descarga de la versión 3. Instale siguiendo las instrucciones, *sin olvidar marcar la casilla de "Añadir Python 3 al path del sistema"*.

Anaconda / Miniconda también está disponible para sistemas Mac como otra alternativa adicional para hacer disponible Python3 en su sistema. Si le resulta interesante disponer del entorno y las funcionalidades adicionales que ofrece Anaconda puede seguir esta vía, aunque no se hará aquí más referencia a ella por concisión (usará el comando `conda` para instalar, etc). En todo caso no se recomienda tener en uso simultáneamente HomeBrew y Anaconda/Miniconda (o en general gestores de paquetes diferentes) ya que podrían entrar en conflicto.

En este punto Python 3 estará disponible en su sistema. Es indiferente si ha usado HomeBrew o el instalador obtenido en la web de Python, ya que en ambos casos se habrá hecho disponible en el sistema la utilidad "pip3", con la que puede instalar las dependencias adicionales de ThinSecBeam. También desde el terminal:

```
pip3 install matplotlib
```

Tras ello ya debería poder ejecutar ThinSecBeam desde el propio terminal, por ejemplo (ajuste la ruta según convenga):

```
python3 ~/Downloads/secciones/ThinSecBeam_10.py
```

O puede ejecutar el programa mediante cualquier otro procedimiento de escritorio habitual. En caso de dificultades, la causa probable es que alguna de las dependencias no se haya instalado como se esperaba. Observe cuál es en el terminal e instálela de manera similar (por ej. `pip3 install tk`).

El procedimiento anterior ha sido probado exitosamente con la versión 3.7.4 de Python (última versión disponible en la fecha de redactar estas notas), habiéndose necesitado instalar numpy y matplotlib a través de pip3 según el procedimiento indicado.

Utilización

El programa presenta al iniciarse la ventana siguiente:



- Figura 1 -

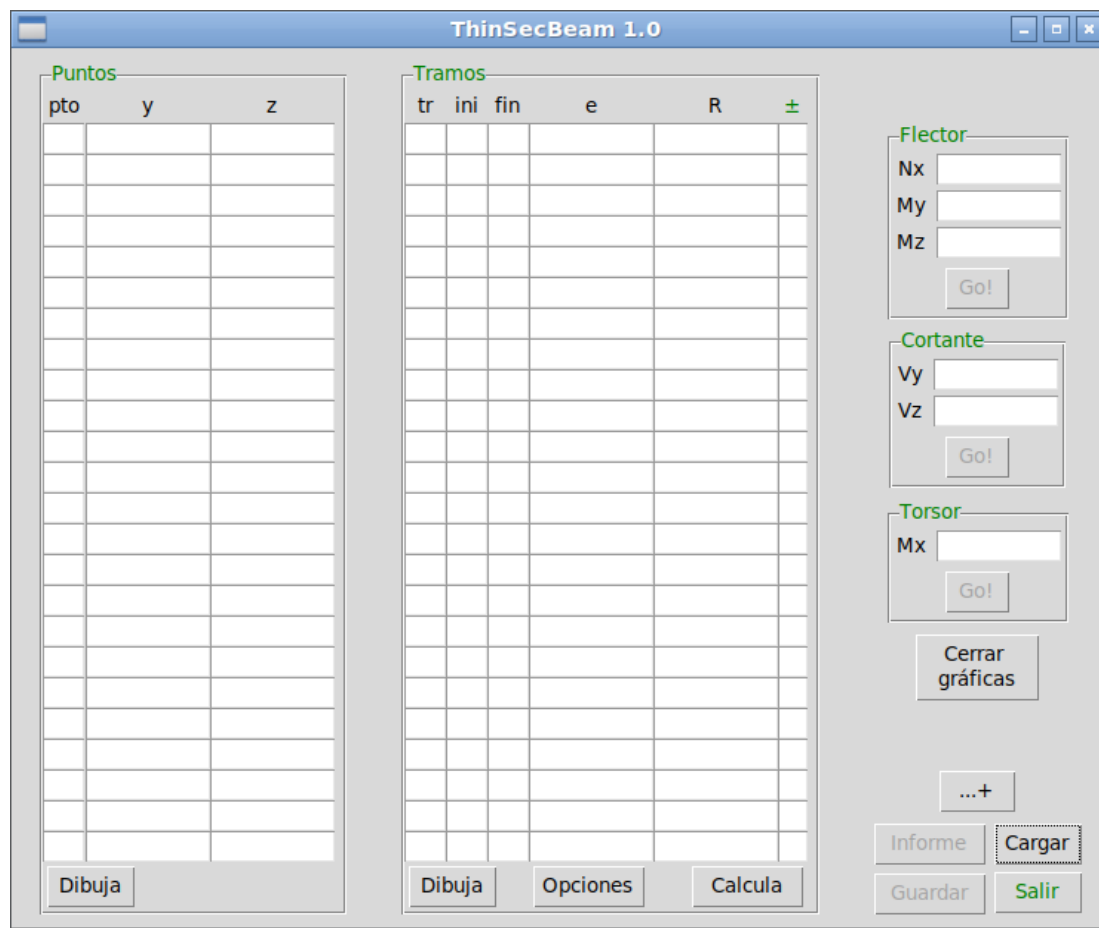
Conviene aclarar desde el principio que el autor no es experto en el diseño de interfaces de usuario, ni pretende especialmente llegar a serlo. Se ha perseguido que la interfaz simplemente resulte eficaz. Si además pasa desapercibida durante el uso habrá cumplido sobradamente las expectativas ;-)

En esta ventana, aparte de actuar con el ratón, se puede usar <Tab> ó bien <Shift><Tab> para saltar de botón, y <Space> para pulsar el botón seleccionado.

En general: en cualquier ventana del programa pueden usarse esas combinaciones de teclas: <Tab>, <Shift><Tab>, <Space>.

Los botones “Licencia” y “Breviario” muestran respectivamente los términos de licencia de uso del programa y una breve guía de uso. El botón “Ejemplo” carga y resuelve sin más preámbulos un problema preprogramado que muestra algunas de las capacidades del programa. Después se puede seguir interactuando con la ventana principal (ver a continuación) para modificar el ejemplo, cargar un problema guardado, o realizar cualquier otra acción.

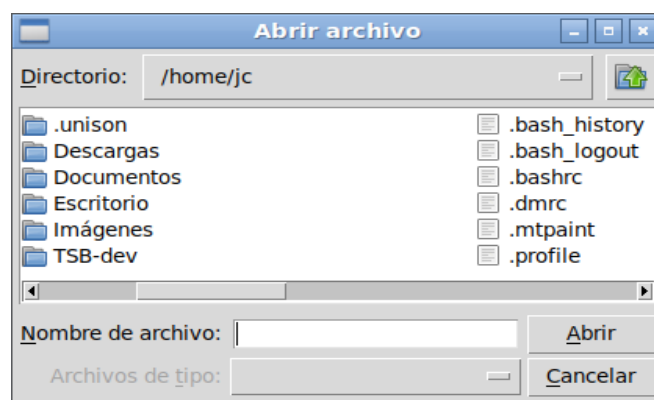
El botón “Resolver” será el que se querrá pulsar para un uso común del programa. Permite tanto especificar los datos de un problema nuevo como cargar los datos de un caso previamente guardado. Este botón hace aparecer la ventana principal del programa, que presenta el siguiente aspecto:



- Figura 2 -

CARGAR un problema existente

El botón “Cargar” habrá quedado preseleccionado al abrir la ventana principal (puede activarse directamente pulsando espacio). Hace aparecer la ventana de la figura 3 siguiente, para que Ud. pueda seleccionar un archivo. El directorio inicial es el directorio raíz del usuario.

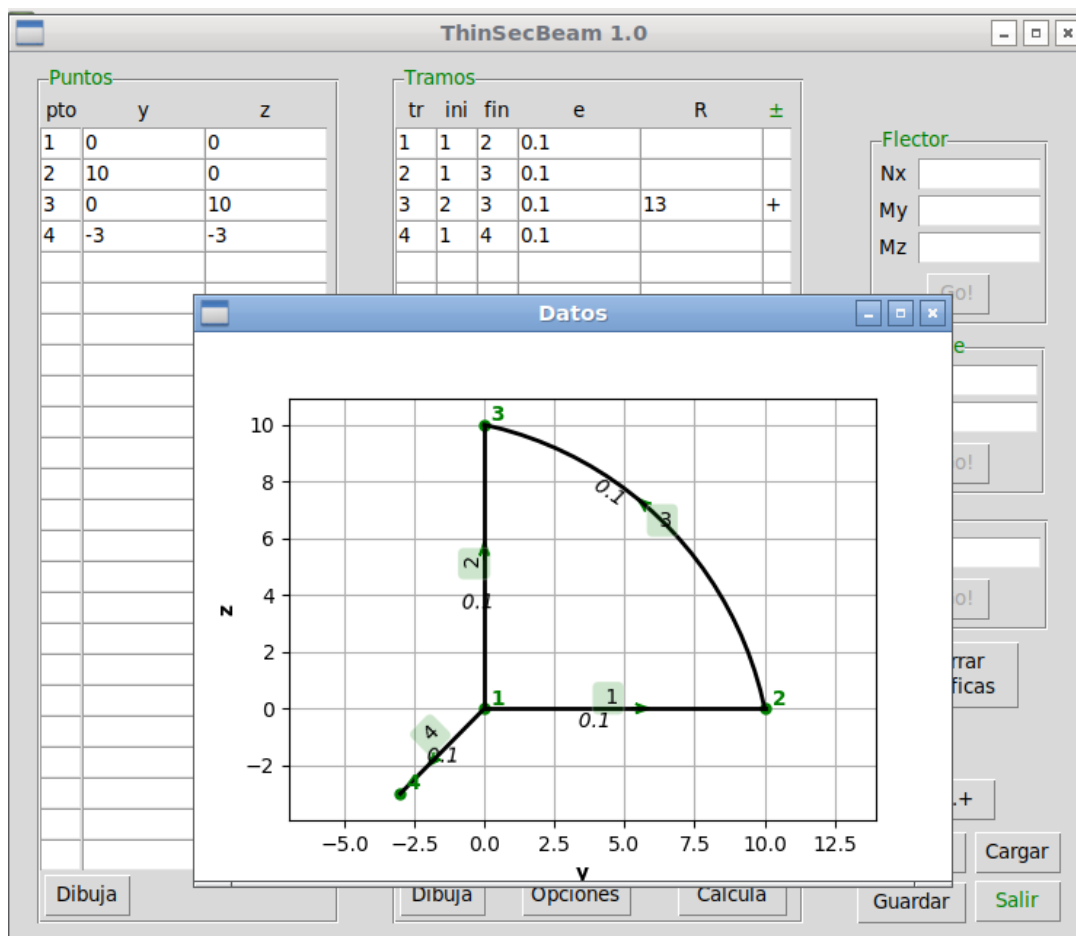


- Figura 3 -

Tras cargar un archivo la ventana principal queda en el mismo punto que si se hubiesen introducido a mano los datos. Esta situación se ilustra a continuación.

Especificar los datos de un PROBLEMA NUEVO

El programa necesita que Ud. especifique los “puntos” y “tramos” que forman la sección. Los puntos servirán para especificar los extremos de los tramos. Debe comenzar por introducir cada “punto”, el cual se identifica con un número natural cualquiera (que no se haya usado para otro punto), y queda definido por sus coordenadas y,z, en el plano de la sección. El botón “Dibuja” que está en el área de datos de puntos dibujará los puntos recién definidos en una ventana aparte para que Ud. los compruebe.



- Figura 4-

Los tramos se identifican con un número natural cualquiera (que no haya sido usado para otro tramo), y se definen mediante su punto inicial, su punto final y su espesor. Si el tramo es circular debe especificarse además su radio y el sentido en que se recorre el arco desde el primer punto al segundo: '+' si es antihorario, '-' si es horario. El programa asume que el recorrido se realiza por el camino angular más corto del primer punto al segundo. Esto simplifica la entrada de datos pero imposibilita implícitamente el uso de tramos circulares de más de 180°. Si la sección tiene un arco de 180° ó mayor, simplemente use dos tramos para describirlo. Si no se especifican los dos últimos campos (radio y sentido) se entenderá que el tramo es recto. El botón “Dibuja” del área de datos de tramos muestra tanto los puntos como los tramos recién definidos en una ventana aparte para que Ud. los compruebe. La figura 4 muestra esta última ventana, etiquetada “Datos”, junto con la ventana principal tras haber introducido los datos de una sección de ejemplo.

No tiene sentido “discretizar” un tramo de espesor constante en subtramos: El programa maneja internamente expresiones analíticas exactas para el cálculo de tensiones y desplazamientos, así como para el módulo de alabeo y centro de esfuerzos cortantes, entre otros parámetros. Las expresiones más complicadas se han obtenido con el módulo SymPy de cálculo simbólico.

Una vez introducidos y comprobados los datos, se debe pulsar el botón “Calcula”. Con ello se

realizan los cálculos más significativos que requiere el análisis de la sección y se refresca la ventana de "Datos" por si Ud. hubiese hecho algún cambio no dibujado. También aparece la "ficha" de la sección, que contiene un resumen de las características fundamentales de la misma.

Si se pulsa en algún momento posterior el botón "Dibuja" del área de tramos, el programa entiende que se habrá realizado alguna modificación de los datos. Por ello debe pulsar el botón "Calcula" de nuevo antes de solicitar otros resultados.

El programa es "agnóstico en cuanto a unidades". Tanto las coordenadas de los puntos como los espesores de los tramos y como los esfuerzos, se consideran dados en un cierto sistema de unidades consistente que el usuario habrá elegido y que el programa no cuestiona.

Una vez pulsado el botón "Calcula" se habilitan las opciones de analizar la sección frente a datos de esfuerzos concretos que Ud. especifique.

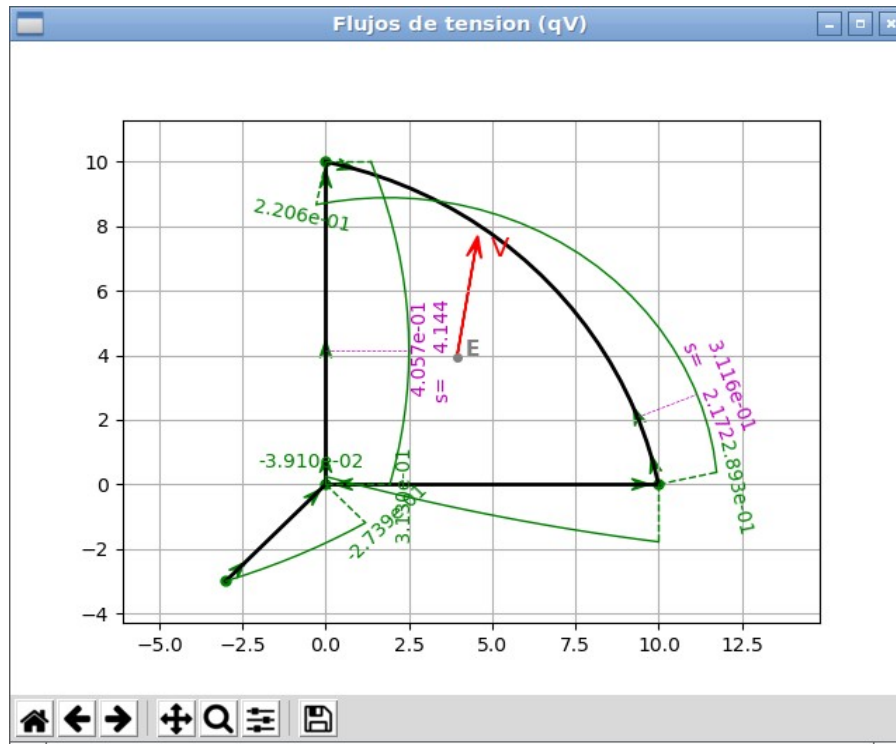
Analizar la sección frente a ESFUERZOS

El área etiquetada "Flector" permite introducir las componentes M_y , M_z , de momento flector y la N_x de esfuerzo axil. El botón "Go" de este área dibujará en 2D y en 3D las tensiones normales asociadas a esa combinación de esfuerzos. Como es sabido, dichas tensiones siguen simplemente la ecuación de un plano y su representación se incluye principalmente con fines ilustrativos y didácticos.

Las componentes de los esfuerzos se consideran positivas si tienen el sentido del eje correspondiente, salvo en el caso de M_z que se considera positivo en sentido opuesto al eje z .

El área etiquetada "Cortante" permite introducir las componentes V_y , V_z , de esfuerzo cortante en la sección. El botón "Go" de este área presentará un dibujo 2D de los flujos de tensión y una figura 3D de los desplazamientos de alabeo correspondientes.

En la representación 2D de flujos de cortante, las cotas se dibujan siempre paralelas al flujo al que refieren. En los puntos en que sólo confluyen dos tramos la cota figura una sola vez por claridad. Los máximos se acotan en color magenta y se acompañan de la cota "s" del tramo en que ocurren. Dicha cota se mide en longitud sobre el tramo desde su primer punto. En la ventana de "Datos" cada tramo tiene una flecha que indica el sentido de esta coordenada "s", aunque también puede inducirse de la especificación de puntos del tramo. La figura 5 muestra esta representación de flujos de tensión para un cierto esfuerzo cortante. En cada porción de tramo una o más flechas indican la dirección del flujo. Si no desplaza mucho el trazado, el esfuerzo cortante se representa vectorialmente (flecha roja) desde el centro de esfuerzos cortantes E. Si se fuese a desplazar demasiado, el programa dibujará V en algún lugar que moleste menos, aunque por supuesto la reducción correcta de estas tensiones es su resultante V pasando por E.



- Figura 5 -

Los botones situados en la parte inferior izquierda de la figura 5 pueden mostrarse con otra estética y/o en otra posición dependiendo del entorno de escritorio y plataforma que usted utilice. Permiten interactuar con el trazado. Sus funciones son (de izquierda a derecha): volver a la vista inicial, volver a la vista anterior, volver a la vista siguiente, mover (botón izquierdo del ratón) ó hacer zoom (botón derecho), hacer zoom a un rectángulo, ajustar márgenes y similares, y guardar la figura. Las demás ventanas de salida de resultados del programa tienen también esta funcionalidad. Si por ejemplo, dos cotas aparecen superpuestas puede hacerse un zoom a esa zona y las cotas se separarán.

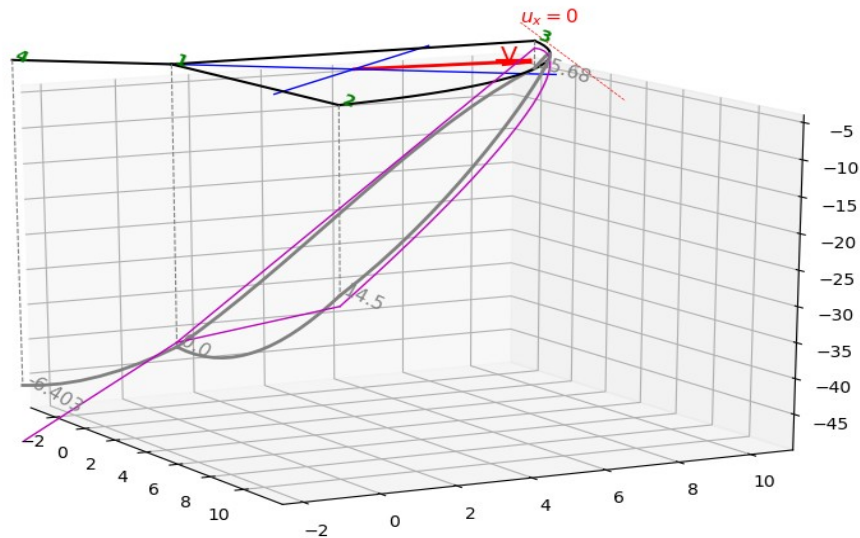
El trazado 3D de desplazamientos de alabeo debidos al cortante se muestra en la figura 6. En gris aparece la forma alabeada de la sección. En magenta aparece el plano de interpolación de los desplazamientos anteriores, el cual se calcula usando un criterio geométrico (hay planes de incluir un cálculo basado en un criterio de energía en el futuro). En el plano de la sección se dibujan también como referencia las direcciones principales de inercia (azul), la dirección del cortante (rojo), y la línea de intersección del plano interpolado con el propio plano de la sección (rojo punteado).

El ángulo entre este plano interpolado (magenta) y el plano en que se dibuja la sección (en negro) se identifica con el giro adicional de la sección que el modelo de flexión de Timoshenko propone respecto del modelo de flexión de Navier-Bernoulli.

Todos los desplazamientos que calcula el programa están multiplicados por el módulo de cortadura G del material, sea el que fuere (el programa no lo maneja explícitamente).

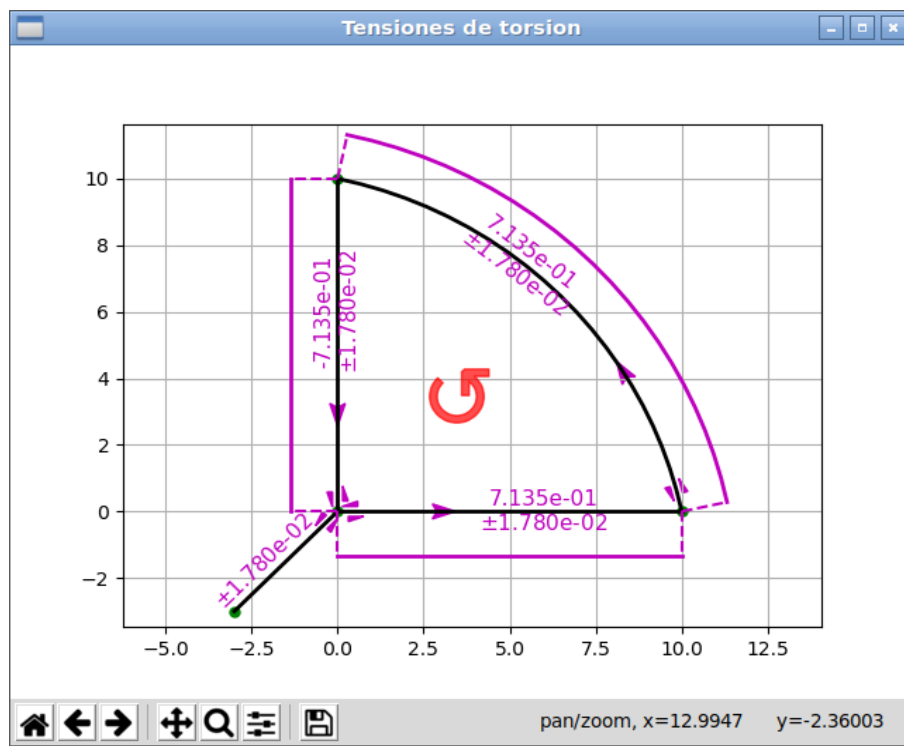
Las cotas de desplazamiento de alabeo u_x que aparecen en esta figura pueden estar desplazadas respecto de la visualización presentada. Ello se debe a que existe la opción de dibujar las gráficas de alabeo desplazadas para su mejor visualización (ver botón de "Opciones" más adelante). La opción por defecto para esta gráfica es desplazar el trazado afuera de la sección. Si se desea puede seleccionarse otra opción entre las disponibles y volver a trazar las gráficas. Las cotas que figuran son en todo caso las que realmente ha calculado el programa respecto de un "punto base" dado, el cual puede identificarse en esta misma figura (ya que aparecerá acotado con desplazamiento cero) o elegirse en la ventana de "Opciones". Como se aprecia, se trata del punto 1 en este caso. Esta figura, al igual que el resto de figuras 3D, puede rotarse arrastrando con el ratón para conseguir la

perspectiva visual más adecuada etc.



- Figura 6 -

El área etiquetada “Torsor” permite introducir el valor del momento torsor. El botón “Go” de este área presentará un dibujo 2D de las tensiones de tensión (en unidades de tensión, no de flujo en este caso), y una figura 3D de los desplazamientos de alabeo correspondientes. Se asume torsión uniforme en los cálculos. La figura 7 ilustra el trazado 2D de tensiones debidas a torsión para un valor del momento torsor.

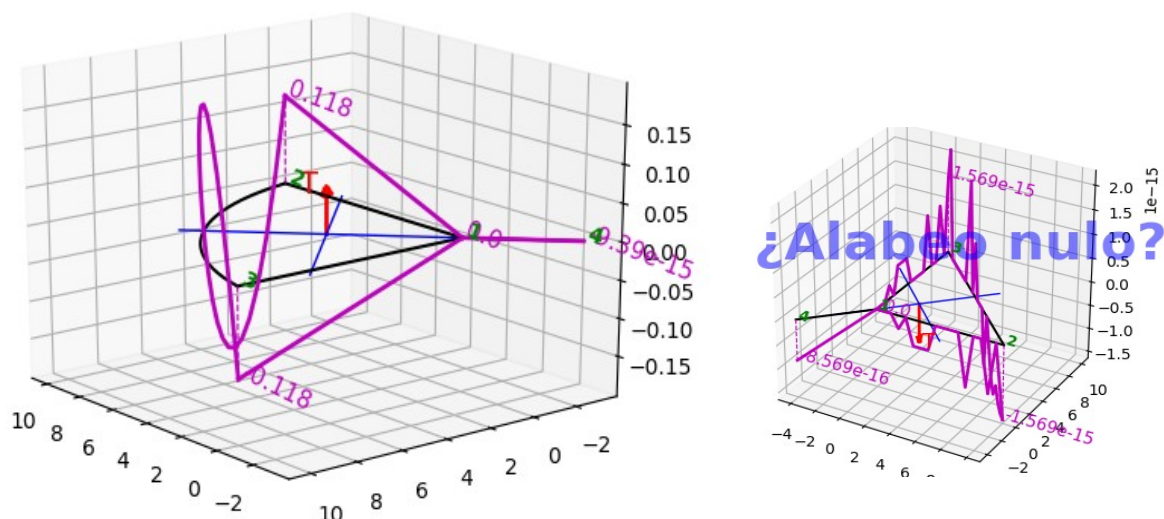


- Figura 7 -

Por una parte se representan las tensiones “de tipo flujo”, que son constantes en la dirección del espesor y constantes a lo largo de cada tramo. Estas tensiones existen solamente en los bucles cerrados del perfil y se indican con una flecha sobre el propio tramo. La función (constante) trazada sobre el tramo indica la magnitud de esta tensión.

Por otra parte se representan las tensiones de evolución lineal en el espesor (de “ida y vuelta”) pero que también son constantes en la longitud de cada tramo. Estas tensiones existen tanto en los ramales abiertos como en los bucles cerrados del perfil, y en todo caso son tales que el par elemental que se forma en un diferencial de longitud (ds) del tramo tiene el sentido del momento torsor aplicado. Se indican con dos semiflechas, una a cada lado del espesor del tramo. Su valor máximo se indica en la acotación precedido de un signo “ \pm ” como indicativo de su carácter “de ida y vuelta”. Estas tensiones, generalmente pequeñas comparadas con las de tipo flujo si las hay, no cuentan en la figura con ninguna representación visual de su magnitud más allá de la propia cota por motivos de claridad.

La figura 8 ilustra el trazado 3D de los desplazamientos de alabeo debidos a torsión para el mismo valor del momento torsor. Son de aplicación las mismas observaciones que para el trazado 3D de desplazamientos de alabeo por cortante.



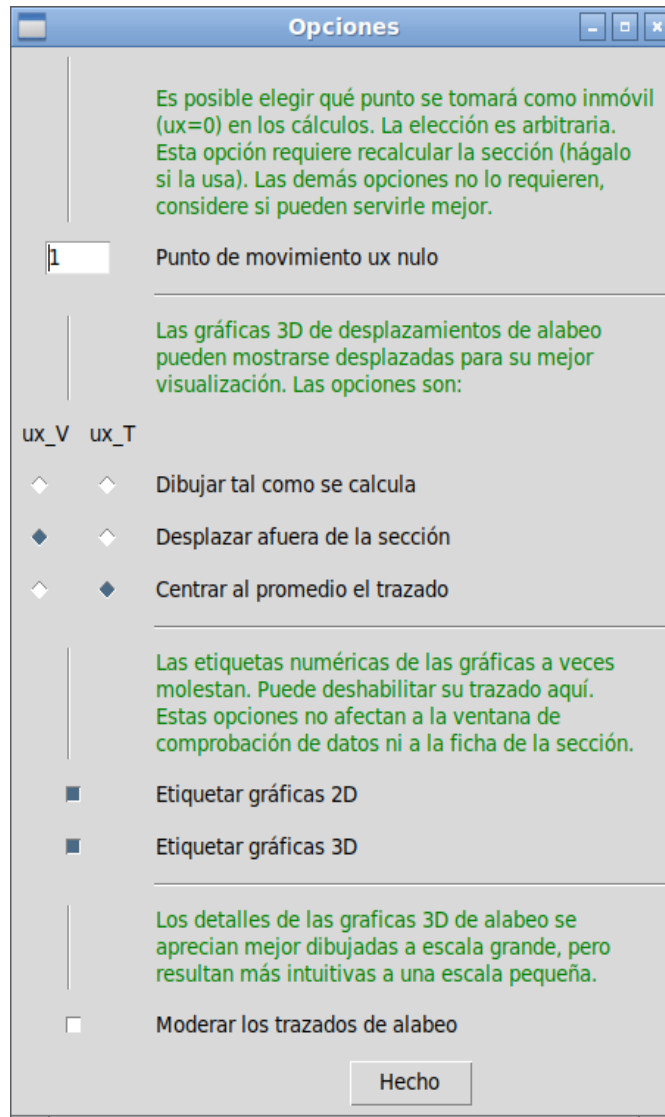
- Figura 8-

Es noticable que según el modelo de cálculo de torsión los tramos tienen tensiones constantes en su longitud, por lo que los desplazamientos en cada tramo son lineales en la coordenada “ s ” y resulta con ello una deformada recta en los tramos rectos.

Algunas secciones, por su propia topología, no alabeen frente a la torsión. El programa intenta detectar estas situaciones y en caso de sospechar que podría tratarse de un caso de este tipo emite un aviso en forma de letrero superpuesto a la figura, del tipo al mostrado a la derecha de la figura 8.

La interfaz ofrece algunos botones más. El más destacable es el de “Opciones” que abre una ventana mostrada en la figura 9, donde se pueden modificar algunos aspectos del comportamiento del programa.

El primer campo, etiquetado “punto de movimiento ux nulo”, permite especificar el punto base que el programa tomará como referencia para calcular el resto de desplazamientos. La elección es arbitraria y la que aparece es la que se usará si no se especifica otra. El cambiar esta opción requiere volver a calcular la sección, por lo que es preferible usar las otras opciones si pueden servir al fin pretendido (que por ejemplo puede ser desplazar un trazado 3D, o hacer patente una simetría o antisimetría en la solución).



- Figura 9-

Los siguientes campos permiten controlar el desplazamiento a aplicar a las gráficas 3D de alabeo por cortante y por torsión.

Existe una cierta costumbre (o al menos el autor así lo aprecia) de dibujar la deformada de torsión centrada en el dibujo de la sección original, siendo ésta la opción que viene marcada por defecto para este trazado. El hecho de que una barra sometida sólo a torsión no presente incremento de longitud neto no es un argumento de peso para condicionar la representación del desplazamiento, aunque probablemente esté en el origen de la costumbre aludida.

Por su parte, la figura del alabeo debido al cortante contiene más elementos y resulta preferible que no se superpongan visualmente con las referencias auxiliares incluidas en el plano en que se dibuja la sección. Por ello la opción por defecto es “desplazar afuera de la sección” este trazado. En todo caso, puede elegirse cualquier opción para cada trazado, incluyendo una tercera de “dibujar tal como se calcula”, que pondrá la cota de desplazamiento nulo en el punto base.

Los campos siguientes simplemente permiten deshabilitar el etiquetado de las gráficas 2D y 3D por si se prefiere un trazado más limpio. Finalmente, el campo “moderar los trazados de alabeo” permite que los trazados 3D de alabeo se dibujen más cercanos a la sección. Tal como se indica en la interfaz, el trazado más cercano puede resultar más intuitivo pero el más amplio permite apreciar mejor los detalles.

El botón de la ventana principal (figura 2) etiquetado como "...+" tiene la función excepcional de cargar los datos de un problema guardado con anterioridad y proceder directamente a su análisis como si se hubiese pulsado el botón "Calcula". Tras presentar la ventana de "Datos" y la de "Ficha", la zona de definición de puntos y tramos se deshabilita y solo es posible analizar la sección frente a esfuerzos. El interés de esta funcionalidad es que posibilita analizar secciones con más puntos y tramos de los previstos en la interfaz. El fichero de datos deberá haber sido editado previamente a mano, sin limitaciones, con un editor de texto plano. En la sección posterior "El fichero de datos" de este manual se especifica cómo hacerlo.

En realidad el autor espera que Ud. no llegue nunca a necesitar esta funcionalidad. Recuerde que dispone de tramos rectos y circulares de resolución exacta, por lo que no conseguirá mejor precisión "discretizando" en más tramos de los que sean necesarios para definir la geometría.

El botón "Cargar" de la ventana principal (figura 2) representa el procedimiento normal previsto para cargar los datos de un problema desde fichero, el cual típicamente habrá sido generado de forma transparente por el programa usando el botón "Guardar". Los datos del problema simplemente se trasladarán a la interfaz. A partir de este momento puede proceder de la misma forma que si hubiese introducido a mano los datos.

Finalmente, el botón "Informe" genera un informe de texto de la sección, que es mucho más amplio y detallado que el ofrecido en la "Ficha". El contenido de este informe se comenta en la sección siguiente.

El informe de texto

El informe de texto se solicita mediante el botón “Informe” de la interfaz. Proporciona información más amplia y detallada que la “Ficha” de la sección. Su contenido se comenta a continuación para el mismo ejemplo que viene apareciendo en el manual.

En primer lugar se reproducen los datos identificativos y geométricos del problema:

```
##### Informe generado por ThinSecBeam 1.0 #####
-----
Identificación: /home/jc/TSB-dev/ej_userguide.informe
-----

Puntos:
Punto base = 1

      ejes dados      ejes por G
ip      y      z      yG      zG      inciP
1         0         0      -3.3948      -3.3948 [1, 2, 4]
2        10         0       6.6052      -3.3948 [1, 3]
3         0        10      -3.3948       6.6052 [2, 3]
4        -3        -3      -6.3948      -6.3948 [4]
-----

Tramos - parámetros básicos:
it  tipoT  pto_i  pto_j      e      L
1    0      1      2      0.1     10
2    0      1      3      0.1     10
3    1      2      3      0.1    14.953
4    0      1      4      0.1    4.2426

Tramos - parámetros geométricos:
it      alfa      alfai      R      yC      zC
1         0
2      1.5708
3      1.1502      0.21029      13      -2.7136      -2.7136
4      3.927
```

Se incluyen las coordenadas de los puntos respecto del centro de áreas G de la sección (yG, zG), los tramos que inciden en cada punto (inciP), y las coordenadas del centro del arco (yC, zC) si el tramo es circular. El ángulo “alfa” es el ángulo que forma el tramo con el eje y (si es recto) o el arco que abarca el tramo (si es circular). El ángulo “alfai” es el abarcado desde el eje y hasta el radio inicial (solamente existe si el tramo es circular). Todos los ángulos se dan en radianes.

A continuación se reproducen algunos parámetros de cálculo que el programa usa internamente:

Tramos - parámetros de cálculo:					
it	Qy	Qz	iQy	iQz	Asect
1	-3.3948	1.6052	-16.974	-0.30714	39.424
2	1.6052	-3.3948	-0.30714	-16.974	-39.424
3	3.8662	3.8662	9.8487	47.962	61.268
4	-2.0767	-2.0767	-3.9553	-3.9553	5.2755e-14

Las Qy & Qz son los momentos estáticos del tramo. Las iQy, iQz son las integrales de los momentos estáticos anteriores en la longitud del tramo. Asect es al área sectorial del tramo medida desde el centro de esfuerzos cortantes E.

Siguen los parámetros de la sección que el programa ha calculado. Se comentan en el orden en que aparecen:

Sección - parámetros globales:

yG	zG	A	ACy	ACz	
3.3948	3.3948	3.9196	1.6276	1.6276	
Aviso: Las areas a cortante no parecen tener sentido, al menos en ejes yz.					
Iy	Iz	Iyz	Ipsi	Ieta	thetaPR
56.244	56.244	-3.1639	53.08	59.408	-0.7854
Wpsi	Weta	I esférico	yz principales		
5.8694	8.4016	no	no		
(W_psi está condicionado por yG,zG=			-6.3948	-6.3948)	
(W_eta está condicionado por yG,zG=			6.6052	-3.3948)	
yE	zE	yE(G)	zE(G)		
3.9424	3.9424	0.54762	0.54762		
J	I_a				
56.181	1.1511				

Coordenadas del centro de áreas (yG, zG), área de la sección (A), áreas a cortante (ACy, ACz), una indicación acerca de si las áreas a cortante parecen tener sentido en ejes yz (basada en la apreciación de si el tensor de giros a cortante es marcadamente diagonal), los momentos de inercia de la sección respecto de ejes dados (yz) y respecto de ejes principales (psi, eta). El programa asigna "eta" al eje principal fuerte. El ángulo thetaPR es el formado desde el eje z hasta el eje principal fuerte, positivo si es antihorario. Este mismo ángulo es mostrado en la "Ficha" de la sección.

En las cuatro líneas siguientes figuran los módulos resistentes (Wpsi, Weta) junto con indicaciones acerca de qué punto condiciona cada módulo resistente.

A continuación se indica la posición del Centro de Esfuerzos Cortantes (E) respecto de los ejes yz dados y respecto de los ejes paralelos que pasan por G, seguido de la constante de torsión (J) de la sección y del módulo de alabeo (I_a). Cabe recordar que estos parámetros se calculan de forma exacta: no se realizan integraciones numéricas sino que se usan expresiones analíticas.

El siguiente bloque presenta información diversa que probablemente no tenga mucho interés en un uso normal del programa:

```
Para un momento Mx=1, y para el pto base elegido, el
promedio exacto de los desplazamientos ux de torsión es:
      G*ux_medio = 1.1068834e-15

Tensor de Giros a Cortante C_ij, con i,j en y,z:
[[0.61438543 0.10436452]
 [0.10436452 0.61438543]]

En ejes principales de inercia, C_psi,eta es:
[[ 5.10020907e-01 -4.44089210e-16]
 [-1.11022302e-16  7.18749947e-01]]

En ejes principales propios, C_diag es:
C_I= 0.51002 ; C_II= 0.71875
con vectores propios:
n_I = -0.707, 0.707
n_II= 0.707, 0.707
(ángulo respecto a yz= -45.000 grados)
```

Se informa del valor promedio de los desplazamientos de torsión calculados para un momento torsor unidad. Este valor es exacto (nuevamente, usando expresiones analíticas en lugar de muestreos o interpolaciones). A continuación se informa del valor del "Tensor de Giros a Cortante", que contiene los giros de los planos de desplazamiento interpolados cuando actúa cada componente de esfuerzo cortante y que el autor define en base a la siguiente relación:

$$G u_x = \begin{pmatrix} V_y & V_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{yy} & C_{yz} \\ C_{zy} & C_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y \\ z \end{pmatrix}$$

Donde G es el módulo de cortadura del material. Se omite un término constante que correspondería con un desplazamiento arbitrario de u_x . Este tensor tiene algunas propiedades y utilidades cuya explicación excede el ámbito de este manual.

Sería difícil definir el significado de “exacto” en el cálculo de este tensor, ya que no hace referencia a un plano real sino a un plano interpolado, y la interpolación puede hacerse bajo diferentes criterios. El programa realiza una interpolación de mínimos cuadrados a un muestreo del desplazamiento de alabeo en puntos equiespaciados sobre la sección. El número de estos puntos se elige usando cierta lógica interna (como referencia, el programa asigna 67 puntos al ejemplo que se viene mostrando). Podrían usarse otros criterios de interpolación, y de hecho se planea implementar un criterio energético como alternativa en el futuro.

La siguiente captura muestra cierta información orientativa acerca del momento crítico de pandeo lateral de una viga cuya sección fuese la considerada. Debe entenderse que este fenómeno está afectado por condiciones en la tercera dimensión (longitud de la viga) y que por lo tanto se sale en realidad del ámbito de este programa. No obstante, como el pandeo lateral es un fenómeno potencialmente importante en secciones de pared delgada se ha querido incluir una reseña, aunque sea orientativa, acerca del mismo:

```

Información orientativa sobre pandeo lateral
--- (por favor consulte la documentación) ---

Se asume flexión según el eje fuerte (eta),
y que el material es un acero de construcción.

Orientativamente:
Para longitud de la barra =      2.2931 y superior, es
razonable despreciar el efecto del módulo de alabeo

Valores orientativos de Mcr/E para algunas longitudes de barra,
siendo E~ 2.1e5 MPa (convírtase a las uds del problema):

      L           65           130           195           260           325           390
Mcr/E      1.732      0.8659      0.5772      0.4329      0.3463      0.2886
-----

```

La información presentada se basa en las recomendaciones del Eurocódigo 3, Anexo F “Pandeo Lateral”. Las expresiones que allí se proporcionan requieren que la sección sea simétrica respecto del eje débil y que la flexión ocurra en el eje fuerte (que denomina z). La expresión simplificada que se ha tomado aquí tiene requerimientos adicionales, y es la siguiente:

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \left[\frac{I_a}{I_z} + \frac{L^2}{\pi^2} \cdot \frac{G I_T}{E I_z} \right]^{1/2}$$

Esta expresión requiere además que la sección tenga alas iguales, que el momento sea constante en la longitud, que las cargas estén aplicadas en el centro de esfuerzos cortantes y que haya “condiciones normales de empotramiento” en cada extremo (esto es que esté empotrada contra movimiento lateral y giro longitudinal, y libre para girar en su plano). Los valores listados de M_{cr} en función de la longitud de la viga son sólo válidos para esas condiciones, la mayoría de las cuales el programa no puede saber si se cumplen o no, y que en todo caso no comprueba. Queda a cuidado del usuario juzgar la aplicabilidad de estos resultados al caso en estudio.

Sigue en el informe la especificación de los puntos del Núcleo Central de la sección que han sido usados para el trazado. Si existen tramos circulares los mismos se han muestreado a intervalos de 5° o menos y se han considerado las líneas neutras exactamente tangentes en esos puntos para el

cálculo. No obstante, téngase noticia de que para estimar líneas neutras que deberían ser tangentes al tramo curvo desde un punto exterior, dicha tangencia se ha aproximado por el punto de muestreo más cercano. Por ello algún punto aislado del núcleo (los que involucren ese tipo de tangencia en sus líneas neutras) puede no ser analíticamente exacto.

Núcleo central de la sección: (coordenadas y,z en ejes por G, ordenadas en sentido antihorario):

y	z
-0.83729	2.955
-2.4109	-0.38357
-2.4628	-0.49377
-2.5006	-0.60738
-2.5641	-0.84979
-2.5945	-1.1058
-2.5853	-1.3683
-2.5317	-1.6281
-2.4313	-1.8745
-2.2849	-2.0967
-2.0967	-2.2849
-1.8745	-2.4313
-1.6281	-2.5317
-1.3683	-2.5853
-1.1058	-2.5945
-0.84979	-2.5641
-0.60738	-2.5006
-0.49377	-2.4628
-0.38357	-2.4109
2.955	-0.83729
-0.83729	2.955

A continuación aparece la solución de desplazamientos y flujos para esfuerzos cortantes (V_y , V_z) y momento torsor (M_x) unitarios.

Solucion en extremos de tramos para esfuerzos unitarios:

i pto	$u_x(V_y=1)$	$u_x(V_z=1)$	$u_x(M_x=1)$
1	0	0	0
2	5.7019	1.4661	0.011802
3	1.4661	5.7019	-0.011802
4	-0.9147	-0.9147	-9.3902e-16

i_tr	$q(V_y=1)$		$q(V_z=1)$		$q(M_x=1)$
	i	j	i	j	j
1	-0.054768	0.029543	0.015645	0.043294	0.0071353
2	0.015645	0.043294	-0.054768	0.029543	-0.0071353
3	-0.029543	-0.043294	-0.043294	-0.029543	0.0071353
4	0.039123	0	0.039123	0	0

Los desplazamientos son positivos en el sentido del eje x (saliente del dibujo de la sección), y los flujos son positivos si entran en el punto, ya sea éste el de inicio (i) o el de final (j) del tramo. Dado que en torsión el flujo de tramo es constante, tendrá el mismo valor y signo distinto en los extremos de tramo. Por ello el listado solo presenta el del punto final (j) del tramo.

Finalmente se proporciona un extenso listado con los valores de muestreo utilizados para generar las gráficas que el usuario solicita pulsando los botones "Go!" de la interfaz. Todos los valores han sido obtenidos mediante expresiones analíticas por lo que cabe entender que son "exactos" según el modelo de pared delgada y salvo el error de redondeo (se usa coma flotante de 16 dígitos). Este listado se muestra aquí recortado por concisión. Se ha considerado innecesario incluir los resultados de flexión en este listado, ya que básicamente corresponden a la ecuación de un plano.

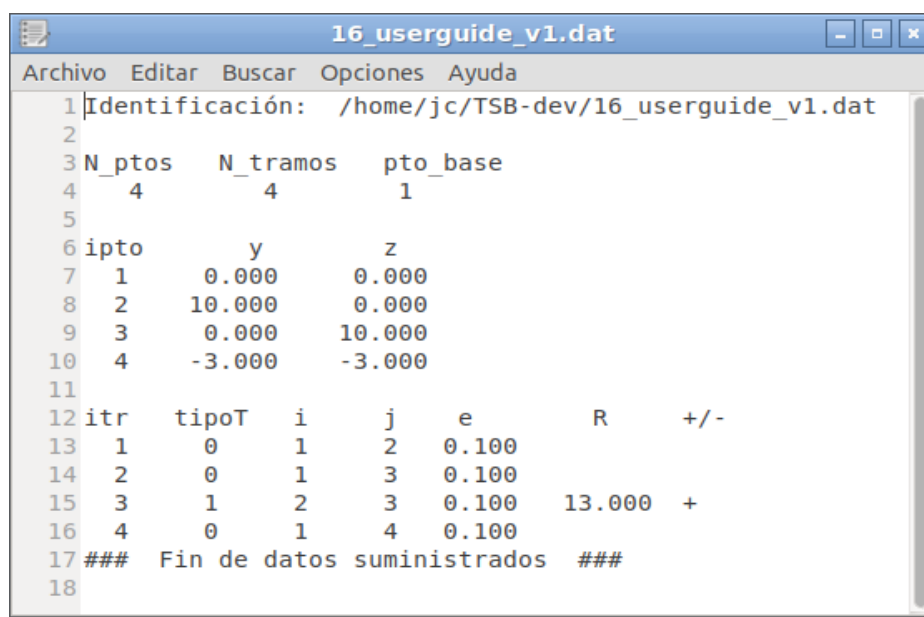
Información detallada para esfuerzos unitarios:

i_tr	y	z	s	ux(Vy)	ux(Vz)	q(Vy)	q(Vz)	ux(Mx)
1	0	0	0	0	0	0.054768	-0.015645	0
1	0.58824	0	0.58824	0.33262	-0.080997	0.058221	-0.0119	0.00069421
1	1.1765	0	1.1765	0.68375	-0.14007	0.061058	-0.0081901	0.0013884
1	1.7647	0	1.7647	1.0497	-0.17742	0.063277	-0.0045148	0.0020826
1	2.3529	0	2.3529	1.427	-0.19325	0.064879	-0.00087426	0.0027768
1	2.9412	0	2.9412	1.8118	-0.18777	0.065864	0.0027316	0.003471
1	3.5294	0	3.5294	2.2006	-0.16118	0.066231	0.0063027	0.0041652
1	4.1176	0	4.1176	2.5898	-0.11369	0.065982	0.0098391	0.0048595
1	4.7059	0	4.7059	2.9757	-0.045499	0.065115	0.013341	0.0055537
1	5.2941	0	5.2941	3.3546	0.043191	0.063631	0.016808	0.0062479
1	5.8824	0	5.8824	3.7231	0.15217	0.06153	0.02024	0.0069421
1	6.4706	0	6.4706	4.0773	0.28124	0.058812	0.023638	0.0076363
1	7.0588	0	7.0588	4.4138	0.43019	0.055477	0.027	0.0083305
1	7.6471	0	7.6471	4.7288	0.59882	0.051524	0.030328	0.0090247
1	8.2353	0	8.2353	5.0187	0.78693	0.046955	0.033622	0.0097189
1	8.8235	0	8.8235	5.28	0.99431	0.041768	0.03688	0.010413
1	9.4118	0	9.4118	5.5089	1.2207	0.035964	0.040104	0.011107
1	10	0	10	5.7019	1.4661	0.029543	0.043294	0.011802
2	0	0	0	0	0	-0.015645	0.054768	0
2	3.6019e-17	0.58824	0.58824	-0.080997	0.33262	-0.0119	0.058221	-0.00069421
2	7.2038e-17	1.1765	1.1765	-0.14007	0.68375	-0.0081901	0.061058	-0.0013884
2	1.0806e-16	1.7647	1.7647	-0.17742	1.0497	-0.0045148	0.063277	-0.0020826
				(etc)				
3	0.58186	9.8617	14.355	1.734	5.8582	-0.046212	-0.022754	-0.001394
3	0	10	14.953	1.4661	5.7019	-0.043294	-0.029543	-0.011802
4	0	0	0	0	0	-0.039123	-0.039123	0
4	-0.375	-0.375	0.53033	-0.19816	-0.19816	-0.035544	-0.035544	-1.1738e-16
4	-0.75	-0.75	1.0607	-0.37634	-0.37634	-0.03159	-0.03159	-2.3476e-16
4	-1.125	-1.125	1.591	-0.53256	-0.53256	-0.027262	-0.027262	-3.5213e-16
4	-1.5	-1.5	2.1213	-0.66483	-0.66483	-0.022559	-0.022559	-4.6951e-16
4	-1.875	-1.875	2.6517	-0.77117	-0.77117	-0.017481	-0.017481	-5.8689e-16
4	-2.25	-2.25	3.182	-0.84959	-0.84959	-0.012029	-0.012029	-7.0427e-16
4	-2.625	-2.625	3.7123	-0.89809	-0.89809	-0.0062017	-0.0062017	-8.2165e-16
4	-3	-3	4.2426	-0.9147	-0.9147	0	0	-9.3902e-16
----- fin del informe -----								

El fichero de datos

El fichero de datos de un problema es un fichero de texto plano, totalmente legible y accesible para el usuario. En el uso normal previsto, el programa manejará este fichero de forma transparente, por lo que es muy probable el usuario nunca necesite editar, o ni si quiera ver, el contenido de este fichero. Sólo en la rara situación en que se requieran más puntos o tramos que los previstos en la interfaz puede necesitarse la edición manual. Este apartado se incluye para cubrir dicha situación.

La figura 10 muestra el fichero de datos correspondiente al ejemplo que se viene mostrando. El autor tiene por costumbre poner la extensión “.dat” a los ficheros de datos, pero es algo totalmente opcional. El usuario puede nombrar el fichero según su gusto.



```
1 Identificación: /home/jc/TSB-dev/16_userguide_v1.dat
2
3 N_ptos    N_tramos    pto_base
4      4          4          1
5
6 ipto      y          z
7 1         0.000      0.000
8 2         10.000     0.000
9 3         0.000      10.000
10 4        -3.000     -3.000
11
12 itr      tipoT      i          j          e          R          +/-
13 1         0          1          2          0.100
14 2         0          1          3          0.100
15 3         1          2          3          0.100      13.000    +
16 4         0          1          4          0.100
17 ### Fin de datos suministrados ###
18
```

- Figura 10 -

La primera línea del fichero contiene una “identificación breve” del problema. Si el fichero ha sido generado por el programa, esta línea contendrá la ruta al propio fichero que se especificó tras activar el botón “Guardar”. Si lo edita Ud. a mano, puede poner una frase que describa el problema o cualquier cosa que le resulte útil. La segunda línea queda en blanco por defecto pero en edición manual puede usarse también para comentarios. La tercera línea sirve de cabecera legible para la cuarta línea. Básicamente el programa ignora el contenido de estas tres primeras líneas que tienen sólo una función de legibilidad, aunque deben existir incluso si eventualmente se dejan en blanco.

En la línea 4 comienzan los datos propiamente dichos. Su contenido de izquierda a derecha es: el número de puntos, número de tramos, y finalmente el “punto base” elegido como de desplazamiento nulo para los cálculos.

*Los datos en una línea están separados uno o varios espacios en blanco.
En los números que lo requieran se debe usar punto decimal (no coma).
Las potencias de 10 se denotan con “e” (por ejemplo 5.477e-4, sin dejar espacios en blanco).*

La línea 5 se deja en blanco por legibilidad. La línea 6 sirve de cabecera legible a la línea 7. El contenido de estas líneas es ignorado por el programa, pero las líneas deben existir.

En la línea 7 comienza la descripción de las coordenadas de los puntos. Serán tantas líneas como número de puntos se hayan especificado en el primer campo de la línea 4. En este caso 4 líneas, desde la 7 a la 10 ambas inclusive. Cada una de estas líneas contiene de izquierda a derecha: el

código del punto, su coordenada “y”, & su coordenada “z”.

La línea siguiente (11 en este caso) se deja en blanco por legibilidad. La línea siguiente (12 en este caso) sirve de cabecera legible a la línea 13. El contenido de estas líneas es ignorado por el programa, pero deben existir.

En la línea 13 comienza la descripción de los tramos. Serán tantas líneas como número de tramos se hayan especificado en el segundo campo de la línea 4. En este caso 4 líneas, desde la 13 a la 16 ambas inclusive. Cada una de estas líneas contiene de izquierda a derecha: el código del tramo, el código de su primer punto, el código de su segundo punto, y el espesor del tramo. Si el tramo es recto no habrá nada más en la línea, pero si es curvo figurará además el radio y el sentido en que se recorre el arco desde el primer punto al segundo (“+” es antihorario, “-” es horario).

El programa discrimina si el elemento es recto o circular simplemente por la ausencia o presencia de estos dos últimos campos en la línea. Sabiendo que el arco se recorre por el camino angular más corto desde el primer punto al segundo, los datos suministrados (radio y sentido de giro) son suficientes para determinar sin ambigüedades la geometría del tramo curvo.

Los puntos de un tramo pueden darse en cualquier orden (“primer” y “segundo” punto no tienen que tener un orden de códigos particular, por ejemplo).

Recuerde: tampoco los puntos o tramos tienen que estar en un orden particular ni seguir una numeración consecutiva ni compacta. Si en los ejemplos suele serlo, es más por comodidad del usuario que del programa.

La siguiente línea, la número 17 en este caso, se incluye por legibilidad y es ignorada por el programa. Puede omitirse si se desea. Cabe decir lo mismo de cualquier línea posterior, esté o no en blanco. Es posible usar dichas líneas posteriores, en el número que se desee, para cualquier uso. Por ejemplo para poner comentarios adicionales, o para copiar los resultados del informe, o incluso de la salida de terminal si existe. También para dejar escritos trozos alternativos del propio fichero de datos para su eventual reutilización, etc.

Para prácticamente cualquier modificación que quiera realizarse en un problema, ya sean detalles menores como cambiar las coordenadas de alguno de los puntos, o cambiar espesores de los tramos, o bien sean modificaciones sustanciales como añadir tramos y puntos, se recomienda usar la interfaz gráfica ya que es mucho más cómoda que editar el fichero de datos. Como se ha dicho, la única situación prevista que requiere esta edición es la de un problema que “no quepa” en la interfaz. Para ello puede partir de un fichero existente como guía y editar sobre él.

*Espero que usted encuentre útil ThinSecBeam.
Si tiene sugerencias o comentarios puede contactar con el
autor en el correo que figura en el capítulo de “Instalación”.*

*Juan Carlos del Caño
Dr. Ingeniero Industrial - Profesor Titular
Escuela de Ingenierías Industriales
Universidad de Valladolid
Spain*