

## **DEVELOPMENT OF THE TOOL APERMET FOR COMPLEMENTING THE ANALYSIS OF STEEL STRUCTURES IN TEACHING**

Laserna Arcas, Santiago; Montero Martínez, Jesús  
ETSIAM-UCLM

The learning of structural analysis in engineering university degrees involves an important teaching load, which sometimes induces difficulties to the students to follow up the lessons. On this context, the Metallic Profiles Analysis tool (APERMET) according spanish structural code (CTE) has been developed with the main objective to help in teaching as a complement to understand the matter. The tool is characterized by a simple and easy use, thought to guide the student gradually to perform all required verifications for solving the analysis of linear elements on the metallic structures. In addition, the increasing tendency to the “self-study” in the university teaching together with the high demand on distance learning had influenced the design to develop an evolving interface able to show progressively all parameters required for the calculations. Thus, users are able to verify quickly if their manually calculation is right, and/or identify the wrong point immediately, allowing to correct the problem by themselves. As interesting result, it is noted that the use of this tool is more widespread among the student with difficulties to attend classroom lessons and/or tutoring times, finding on APERMET tool a perfect complement to reinforce their learning

**Keywords:** software; metal structures; CTE; teaching; self-study

## **DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA APERMET COMO COMPLEMENTO PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE ACERO EN MATERIA DOCENTE**

Las materias relacionadas con el cálculo estructural en carreras universitarias de ingeniería conllevan una importante carga lectiva que en ocasiones dificulta un seguimiento fluido para los alumnos. En este contexto se desarrolla la Herramienta de Análisis de Perfiles Metálicos adaptada al Código Técnico de la Edificación, APERMET con unos objetivos claramente enmarcados como elemento de apoyo en docencia. Es una herramienta caracterizada por su sencillez de manejo y pensada para guiar al alumno paulatinamente en cada una de las comprobaciones que deben realizar para analizar elementos lineales de estructuras metálicas. Además, la creciente tendencia al “self-study” y a la enseñanza a distancia en la docencia universitaria han marcado el diseño de esta herramienta para crear un entorno evolutivo que muestra progresivamente los parámetros a calcular. Así, el usuario es capaz de verificar rápidamente si el análisis realizado manualmente es correcto, y/o identificar cual es el punto donde existe un error, permitiendo corregirlo de forma autodidacta. Resulta destacable que el uso de esta herramienta se encuentra más extendida entre los alumnos con dificultades de asistencia a las lecciones presenciales y/o tutorías, y que encuentran en la herramienta APERMET un complemento perfecto para reforzar su aprendizaje.

**Palabras clave:** software; estructura metálica; CTE; docencia; self-study

Correspondencia: Jesús Montero Martínez - [jesus.montero@uclm.es](mailto:jesus.montero@uclm.es)

## 1. Introducción

En el ámbito de la docencia en ingeniería, asignaturas experimentales como pueden ser las relacionadas con el cálculo estructural, suponen para los alumnos un importante esfuerzo de comprensión y análisis derivado de la complejidad de la normativa regulatoria que define su dimensionado. Concretamente, las titulaciones relacionadas con el ámbito agroforestal, se componen de una parte importante del contenido docente y por las cuales, se habilita al ingeniero competente en el cálculo y dimensionado de este tipo de estructuras. Por otro lado, la experiencia en la docencia de estas asignaturas claramente determina que, debido a la complejidad de los códigos de cálculo que emplean un importante número de parámetros y tablas para la comprobación estructural, el procedimiento desde los inicios en el aprendizaje resulta complejo de manera que la primera sensación de los alumnos se traduce, por un lado, en incertidumbre debido a la selección correcta de los parámetros, y por otro y también relacionado con ello, una incertidumbre a la hora de identificar y localizar el posible error en el cálculo.

En este preámbulo, y con unos objetivos claramente marcados por la ayuda a la docencia, se desarrolla la Herramienta de Análisis de Perfiles Metálicos adaptada al Código Técnico de la Edificación, APERMET ©. Se trata de una herramienta de sencillo manejo, desarrollada mediante el software MatLab®, que funciona en entorno Windows®, y en la cual se incluyen cada una de las comprobaciones de dimensionado que se realizan a los perfiles metálicos estudiados por los alumnos durante el desarrollo de las asignaturas. Esta herramienta, a pesar de poder ser perfectamente utilizada como un software de optimización tradicional, está claramente diseñado para su uso en docencia, ya que la configuración y la navegación a través de sus diferentes opciones está específicamente pensada para guiar al alumno en la ayuda a la resolución de los problemas propuestos durante el ejercicio de las asignaturas.

En relación a esta directriz de su utilidad en docencia, la herramienta además de mostrar los resultados finales de dimensionado que puede mostrar cualquier otro programa de cálculo convencional, describe cada uno de los parámetros intermedios que se encuentran implicados en las diferentes comprobaciones realizadas, por lo que el alumno es capaz de verificar rápidamente si todo el procedimiento de comprobación que realiza manualmente es correcto, y en su caso, identificar cual es el paso en el que ha cometido el error para corregirlo. Esto permite mejorar la velocidad de aprendizaje del alumno, ya que rápidamente puede centrarse en intentar aprender o apuntalar los conceptos mal aplicados en su problema.

Este software no pretende sustituir a otros programas de cálculo y dimensionamiento de estructuras metálicas, mucho más potentes y con más prestaciones, sobre todo para su aplicación profesional, pero sin ese enfoque docente. Tal es el caso de CYPE3d ©, de CYPE Ingenieros, o TRICALC ©, de Arktec.

Otro ejemplo son los programas desarrollados por el grupo de Ramón Argüelles, Catedrático de Cálculo de Estructuras de la Universidad Politécnica de Madrid, como son METALPLA © o ESTRUMAD ©. Este software apareció a mediados de los años 80, con un carácter claramente didáctico. Las primeras versiones, en MSDOS, hasta el último tercio de la década de los 90, donde aparecen las versiones bajo entorno Windows. Su evolución ha sido progresiva hasta las versiones actuales, con un enfoque totalmente comercial y profesional.

## 2. Objetivos

El objetivo de este trabajo ha sido el desarrollo de una nueva herramienta informática de fácil empleo que permita el control total sobre las variables que influyen en el dimensionado de estructuras metálicas, específicamente diseñado para su uso en docencia, de manera que el programa se ha estructurado y diseñado para guiar al alumno al aprendizaje del método de cálculo que implementa el Código Técnico de la Edificación (CTE).

La aplicación también es puede ser utilizada por profesionales dedicados al dimensionado de estructuras metálicas.

## 3. Metodología

Para conseguir este objetivo, se crea una "interface de evolución", en la que conforme se completan los campos requeridos para un hipotético caso de comprobación estructural, se permite avanzar en las comprobaciones y no antes. Es decir, para poder avanzar a lo largo de todas las comprobaciones a realizar por el alumno, previamente se deben definir los parámetros de partida necesarios para la realización de cada una de las comprobaciones, y únicamente cuando están completos todos los registros de entrada se activan consecutivamente las diferentes opciones de cálculo.

Para la interacción con el usuario se realiza en un entorno interactivo tipo Windows, teniendo en cuenta en todo momento de generar una imagen atractiva mediante esquemas y elementos aclaratorios al cálculo que hagan de la herramienta un elemento que ayude a la comprensión de los resultados que se están mostrando en pantalla, no únicamente una salida de datos visual, sino un elemento ordenado en función de las entradas demandadas por el usuario.

A pesar de ello, la herramienta necesita el conocimiento previo de los fundamentos de cálculo de estructuras para empezar a trabajar con ella. No se trata por tanto de una herramienta autodidacta, sino de un instrumento de apoyo al aprendizaje y al cálculo que permita afianzar los conocimientos adquiridos y fortalecer los más débiles de una forma dinámica. Aun así, la herramienta cuenta con un manual de usuario facilitado a los alumnos para su aprendizaje.

Acorde con los conceptos de la asignatura en la que se enmarca esta herramienta, se plantea un programa de cálculo destinado a verificar los Estados Límite Últimos (Estabilidad y Resistencia) que permita el cálculo de piezas metálicas según se describe en el CTE.

La metodología a seguir en la creación de esta herramienta ha pasado por los siguientes apartados:

- Fijar las capacidades que va a tener el programa y definición de las prestaciones.
- Estudio del Código Técnico de la Edificación y extracción de la metodología de cálculo adaptada a las prestaciones.
- Creación del código en lenguaje MATLAB que cumpla con las ecuaciones descritas en el código y comprobación.
- Comprobación del código creado y fragmentación en subunidades correspondientes a las diferentes comprobaciones a realizar. Enlazado de los Fragmentos.
- Creación del entorno visual con el que va a interactuar el usuario de forma dinámica, con especial énfasis en el auto-guiado de la entrada de los datos.

Se emplea la normativa vigente en España que rige el cálculo de las estructuras metálicas, El Documento Básico de Seguridad Estructural-Acero (DB-SE A), del Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006), para establecer la metodología de cálculo a aplicar. Además, se

complementan los apartados que quedan más difusos de esta normativa con la Instrucción de Acero Estructural, EAE (2011) y la normativa europea vigente “Eurocódigo 3, Proyecto de estructuras de acero” (UNE-ENV 1993-1-1, 1992)

Dentro de las capacidades del programa se diseña un software capaz de calcular los Estados Límite Últimos de piezas metálicas a partir de los esfuerzos solicitantes de la situación considerada como más desfavorable, previamente calculados y mayorados.

El tipo de material para los perfiles es acero. En concreto, se corresponde a los diferentes tipos de acero que se describen en el apartado “4 MATERIALES” del DB-SE Acero del CTE y que derivan de las resistencias del material descritas en la norma UNE EN 10025. Los perfiles metálicos implementados en el cálculo serán los de la serie de perfiles laminados simples (IPE, IPN, HEA, HEB).

Las comprobaciones a realizar son:

- Cálculo de la CLASE DE SECCIÓN.
- Comprobación de RESISTENCIA A NIVEL DE SECCION.
- Comprobación de ESBELTEZ.
- Comprobación de PANDEO LATERAL.
- Comprobación de RESISTENCIA A NIVEL DE BARRA.

De esta manera, las diferentes comprobaciones quedan estructuradas con un orden lógico, que da noción de la estructura a seguir al enfrentarse a un cálculo en este tipo de elementos.

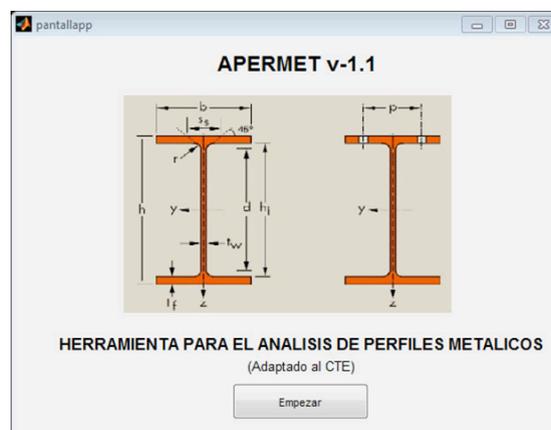
#### 4. Desarrollo de la herramienta

Así pues, con las anteriores directrices, se desarrolla la herramienta APERMET (Análisis de PERfiles METálicos) adaptada al CTE. Este software ha sido desarrollado mediante el programa MATLAB, versión 7.6.0. R2008a (Mathworks Inc., 2008) utilizando el módulo GUIDE para generación de GUI's.

La estructura elegida para la presentación del software es la siguiente:

- Una ventana inicial de presentación de la aplicación (figura 1).
- Una ventana principal de trabajo.
- Seis ventanas secundarias correspondientes a las diferentes comprobaciones a analizar, descritas en el apartado anterior

Figura 1: Pantalla de inicio de la Herramienta APERMET



El diseño de cada ventana se compone, de manera general de los siguientes apartados:

- Introducción de DATOS, zonificado en:
  - Datos previamente obtenidos de introducción anterior por parte del usuario.
  - Datos específicos de la comprobación a realizar (en el caso que se precisen necesarios).
- Apartado de RESULTADOS, en el que fundamentalmente se muestran los valores finales de la comprobación, y si este valor se encuentra dentro de los límites aceptables para que sea válida la comprobación.
- CÁLCULOS realizados, que permiten la comprensión del análisis de los resultados, encontrándose debidamente detallada y en el caso que corresponda, apoyados de esquemas aclaratorios de ayuda.

Dentro de cada ventana, los datos iniciales se encuentran cargados por defecto, mostrando en la ubicación correspondiente el valor de la variable, pero sin que el usuario sea capaz de modificarlos. En caso de datos editables, la introducción de datos se realiza a través de (figura 2):

- Cuadros de entrada. Se selecciona este tipo de actuador, cuando la variable puede tomar múltiples valores, por ejemplo, los valores de los esfuerzos.
- Botones de selección. Se colocan cuando el usuario debe elegir entre dos opciones que no pueden coexistir simultáneamente en la comprobación.
- Botones de actuación. Este tipo de controles se coloca cuando se desea seleccionar las opciones que aparecen escritas sobre él e incluso en ocasiones, dibujadas con los esquemas correspondientes.
- Menús desplegables. En las ocasiones en que los valores a seleccionar tienen opciones claramente definidas y no cabe la posibilidad de seleccionar ninguna opción que no se encuentre dentro de esa lista.

Figura 2: Ejemplo de modos de actuación con el programa

The screenshot displays a software interface with the following components:

- CUADROS DE ENTRADA:** A text input field labeled 'Axial (kN)' containing the value '150'.
- BOTONES DE SELECCIÓN:** A radio button group for the question '¿La pieza es susceptible a pandeo lateral?' with 'Si' and 'No' options. The 'No' option is selected.
- BOTONES DE ACTUACIÓN:** A diagram showing a beam with a triangular load distribution. The diagram is labeled with  $\psi = -1$  and  $C1 = 2.75$ . Below the diagram are two buttons: 'Salvar' and 'Cargar'.
- MENÚS DESPLEGABLES:** A section titled 'DATOS DE PANDEO' containing two dropdown menus for 'Eje Y' and 'Eje Z'. The 'Eje Y' dropdown is set to 'Tramo 1' and shows parameters:  $L1 = 5000 \text{ mm}$ ,  $\lambda = 0.48$ , and  $\chi1 = 0.890$ . The 'Eje Z' dropdown is open, showing a list of options: 'Selección', '1', '2', and '3'.

En la ventana principal de trabajo se definen las variables que resultan comunes al todas las comprobaciones. Cada comprobación toma los datos introducidos en esta ventana y ejecuta

el cálculo. Además, las ventanas secundarias correspondientes a cada comprobación, están habilitadas para la introducción de las variables propias de cada una de ellas.

El concepto de interface evolutiva se justifica debido a que, en algunas comprobaciones resulta necesario ejecutar otra comprobación previa, ya que necesita datos calculados previamente para obtener el resultado. Por tanto, las comprobaciones se presentan con una ordenación lógica en función de la necesidad de datos de cada una de ellas. Así, no es posible realizar una comprobación sin realizar la inmediatamente anterior, lo que claramente está diseñado para que el alumno sea capaz de identificar los diferentes parámetros que intervienen en cada momento.

El resultado de las comprobaciones se indica mediante cuadros de texto donde se indica claramente al alumno si el perfil es válido ("CUMPLE") o no es válido ("NO CUMPLE") frente a los datos introducidos, de manera que una barra que cumple todas las comprobaciones se puede considerar que es válida frente a esta hipótesis de cálculo.

Para analizar estos resultados se añade un apartado en cada ventana que expone los cálculos internos que ha obtenido el programa tras ejecutar el código. Se muestran los datos de las variables consideradas como más significativas a la hora de realizar el análisis del resultado y se ordenan en esquemas, lo que permite su comprensión y capacidad de análisis.

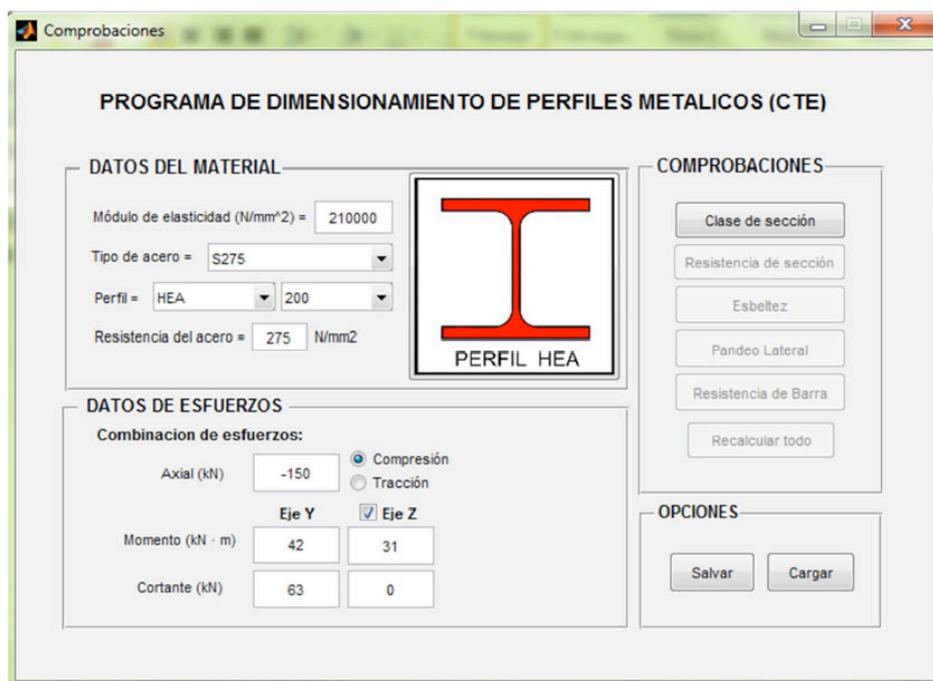
En la creación del entorno visual se añaden las opciones de "Salvar" y "Cargar", que permiten al usuario guardar y cargar sus trabajos.

A continuación, se describen brevemente las diferentes pantallas de cálculo, mostrando las especificaciones más significativas de cada una de ellas y el porqué de su diseño desde el punto de vista docente.

#### 4.1 Pantalla principal de trabajo

Con estas directrices, la ventana principal de trabajo toma el aspecto que se muestra en la figura 3.

Figura 3: Aspecto de la pantalla de principal de la Herramienta APERMET



- Introducción de datos. En esta ventana resulta necesaria la incorporación de dos ventanas de introducción de datos, de manera que se encuentre la información organizada y el alumno no desvíe su atención, relacionando los datos según se agrupan.
- Datos del material. La primera parte hace referencia a los datos del material. Este apartado está preparado para introducir los datos referentes al material y tipo de perfil a utilizar en el dimensionamiento. Además, una vez seleccionada la dimensión del mismo, se activa el botón de actuación que la contiene, de manera que al incidir sobre la misma, aparecen las constantes mecanogeométricas del perfil seleccionado.
- Datos de esfuerzos. Completados los datos del material, se activa esta parte de entrada donde se incorporaran los datos relativos a los esfuerzos a los que se desea comprobar la barra en cuestión.
- Comprobaciones. La diferencia de esta ventana principal con las anteriores, radica fundamentalmente en que en ella no se incorporan apartados de resultados y cálculo, ya que estos datos, con el objetivo de ordenar cada uno de los parámetros calculados, se ordenan y muestran la correspondiente comprobación. De este modo, aparece en su lugar un apartado genérico de comprobaciones, y mediante distintos botones de actuación se da paso a las ventanas secundarias de análisis. Estos botones que se activan paulatinamente en función de que se completen los datos de entrada (primera comprobación) o se ejecute la comprobación anterior (resto de comprobaciones).
- Opciones. Se habilita una opción de salvar y guardar los trabajos generados, de manera que el alumno pueda guardar sus ejercicios y pueda comprobarlos o recuperarlos conforme avanza el curso.

#### **4.2 Comprobación: Clase de Sección**

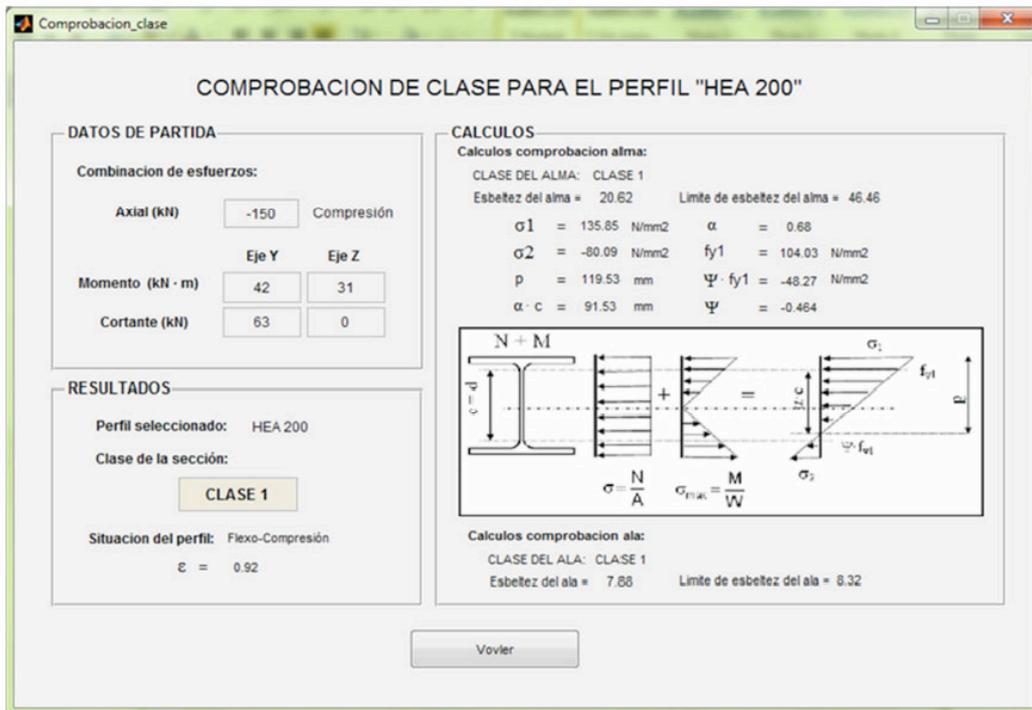
Como se ha especificado anteriormente, una vez completados los datos generales, se puede acceder a las diferentes comprobaciones. La primera comprobación habilitada corresponde a la COMPROBACIÓN de CLASE del PERFIL. Esta ventana se ajusta al diseño general de Introducción de datos, Resultados y Cálculo, tal y como se muestra en la figura 4.

En la Introducción de Datos, los datos que aparecen en la ventana están inactivos y son cargados de la ventana anterior, para cambiar los valores del cálculo, se debe actuar sobre la ventana principal. Este aspecto, que de manera general se repite en las diferentes comprobaciones, pretende dar una idea de qué parámetros son comunes en las comprobaciones, por lo que permite al alumno crearse una estructura de datos y saber que datos se devienen como datos previos o de otra comprobación en las sucesivas.

En el apartado de Cálculo se muestran los valores de cálculo necesarios para clasificar el perfil, apoyados del esquema correspondiente en el que se identifica cada una de las variables descritas. Los cálculos para el ala y el alma se realizan por separado, de manera que se obtienen un resultado de clase para cada uno de estos elementos.

El Resultado del cálculo de la clase de sección está determinado por la clase más desfavorable entre las resultantes del ala y el alma. Así, en este apartado se depura automáticamente el resultado, apareciendo la clase resultante de la sección frente a los esfuerzos introducidos.

Figura 4: Aspecto de la pantalla de la Comprobación de Clase de Sección



#### 4.3 Comprobación: Resistencia de la Sección

Esta comprobación determina la capacidad resistente de la sección seleccionada. Con ella se comprueba si el perfil seleccionado resistirá los esfuerzos solicitantes introducidos en la pantalla principal. A este nivel de avance en el cálculo, si el usuario detectase que la sección no resistiese dichos esfuerzos, puede optar por cambiar el perfil seleccionado por otro mayor en la ventana principal de trabajo, o continuar con el resto de comprobaciones.

Esta ventana está dividida en dos apartados. El primero de ellos, tal y como ocurría en la ventana anterior, muestra los datos de inicio que toma el programa para el cálculo. El segundo muestra los resultados del cálculo.

En el apartado de Resultados, además de incorporar el criterio de si el perfil es válido (CUMPLE) o no lo es, se muestra el nivel de agotamiento desglosado a su vez por la cuantía correspondiente a cada tipo de esfuerzo: axial, momento y cortante; calculado según se especifica en el CTE. Este último dato puede resultar muy útil al alumno para efectuar un dimensionado previo de cualquier pieza, ya que con un cambio rápido del perfil puede ir investigando como va afectando el nivel de agotamiento en el mismo, para obtener el perfil más adecuado en un pre-dimensionado.

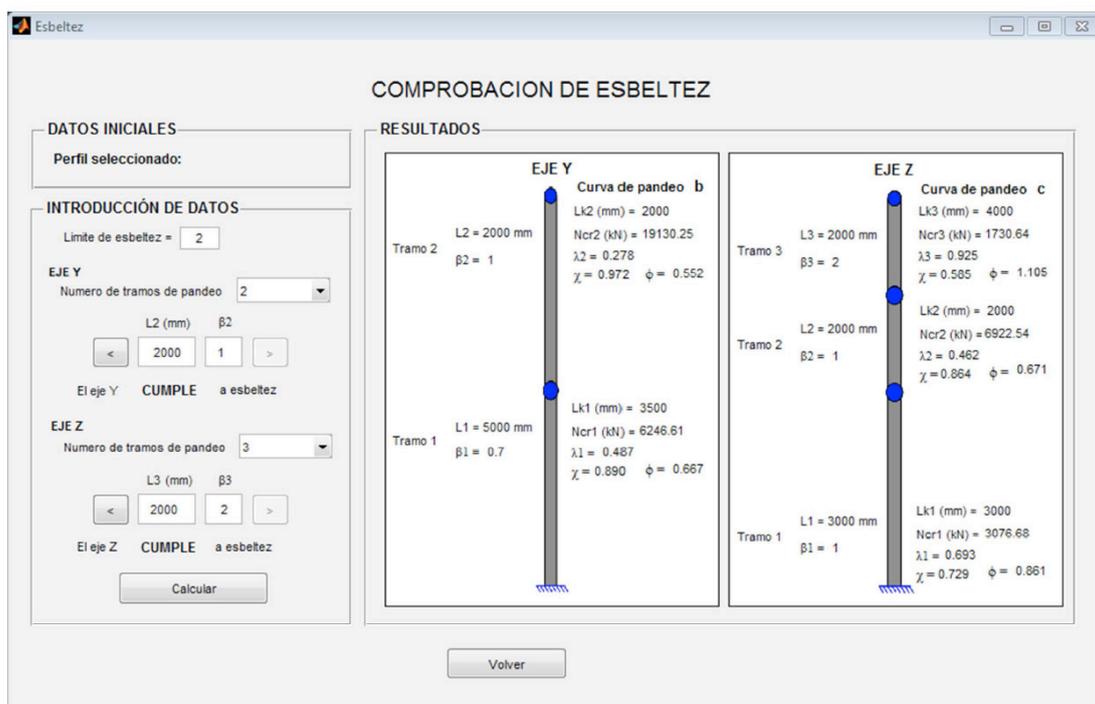
#### 4.4 Comprobación: Esbeltez

A través de esta ventana se puede calcular la esbeltez de la pieza que se desea analizar. Esta comprobación no resulta necesaria de englobar en ningún orden de cálculo, sin embargo, se posiciona en tercer lugar debido a que para su comprobación, interactúan las condiciones externas a la propia barra e intrínsecas de la estructura analizada, por lo que, parece lógica su activación en tanto en cuanto se tenga claro el perfil de partida a analizar y no antes. De este modo, en la jerarquía de análisis seleccionada, se prioriza la asimilación de conceptos por parte del alumno e intenta ubicar el estado del cálculo en el que se encuentra en cada momento.

La particularidad de esta comprobación hace que la introducción de datos para esta comprobación sea editable, de manera que previamente aparecen los datos en blanco, y únicamente se puede salir de la aplicación si se completan y se calcula la comprobación. La opción de cálculo a su vez, no se activa hasta que todos los datos no están convenientemente completados, de forma similar a los datos de introducción relativos a la pantalla de trabajo principal (figura 5).

Además, la opción de resultados se diseña mediante una salida grafica en esquemas, donde se muestra la barra dividida en función de los tramos a analizar y en función del eje analizado. El apartado de "Cálculos" se suprime para crear un entorno más claro al alumno, en el que los parámetros característicos de cada tramo y en cada eje, quedan englobados alrededor del esquema. Además de mostrar los valores de resultado, se muestran cada uno de los valores intermedios necesarios para calcular la comprobación, así como los coeficientes de reducción por pandeo que serán necesarios para calcular comprobaciones sucesivas.

**Figura 5: Aspecto de la pantalla de la Comprobación de Esbeltez**



#### 4.5 Comprobación: Pandeo Lateral

Al accionar el botón correspondiente a esta comprobación en la pantalla principal aparece una nueva interface, estructurada de forma similar a las anteriores: Introducción de Datos, Cálculos y Resultados. En este caso, el apartado de datos iniciales se ha combinado con la de Introducción de Datos, ya que el único dato necesario es el de las características del perfil. La ventana se distribuye según se muestra en la figura 6.

Debido a la similitud con las comprobaciones anteriores, no se va a extender en su explicación. Sin embargo, como aspecto particular, aparece en este apartado un nuevo concepto para la determinación del parámetro  $C_1$ . En este caso, se ha diseñado un botón de ayuda que permite calcular el valor si no se tiene conocimiento del mismo, de manera que al actuar sobre él se despliega una ventana de ayuda a través de botones de actuación con los diferentes diagramas impresos en ellos (figura 7). A partir de ellos, el alumno puede seleccionar la opción que más se adecua a su problema asignado automáticamente el valor

correspondiente.

**Figura 6: Pantalla de Comprobación de Pandeo Lateral**

**Figura 7: Pantalla de Cálculo del Coeficiente C1**

#### 4.6 Comprobación: Resistencia de Barra

Se trata de la última comprobación y a su vez la más compleja de todas, ya que en ella intervienen los resultados obtenidos en el resto de las comprobaciones y es necesario

calcular algunos nuevos coeficientes de relativa complejidad. Se trata de una comprobación que necesita la comprensión total de los conceptos determinados en las comprobaciones anteriores y en la que los alumnos, de manera habitual, presentan los mayores problemas. De este modo, la ventana se estructura reservando un espacio especial a los coeficientes “con mayor complejidad” en su determinación, mostrando de forma estructurada el resto de coeficientes procedentes de las comprobaciones anteriores para su selección (figura 8).

Como se puede ver en la figura, los apartados en los que queda estructurada han sido reconfigurados debido a la cantidad de parámetros que intervienen en el mismo, resultando: Datos de inicio, Datos de Pandeo, Datos de Pandeo Lateral, Cálculo de Coeficientes de Interacción “k”, Cálculo de Coeficientes del Momento Equivalente “ $C_m$ ” y Resultados.

La Introducción de datos se compone de los siguientes apartados:

- Datos de inicio.- Tal y como sucede en el resto de comprobaciones, se muestran los datos previamente cargados en la ventana principal, así como en las derivadas de la comprobación de clase. Se trata del perfil a analizar y de los esfuerzos solicitantes a los que está sometida la pieza analizada.
- Datos de pandeo.- En este apartado, el usuario debe definir los parámetros de pandeo que van a influir en el cálculo del agotamiento y que previamente han sido calculados. Así, se debe seleccionar el tramo correspondiente a la posición en el que se encuentran los esfuerzos solicitantes introducidos en la ventana principal, para el cual el programa tomará los coeficiente de reducción por pandeo  $\chi$ , y la esbeltez correspondientes.
- Datos de pandeo lateral.- De forma similar al campo reservado a esbeltez (pandeo), se deben seleccionar las opciones relativas al pandeo lateral.

**Figura 8: Pantalla de Comprobación de Resistencia a Nivel de Barra**

The screenshot displays the 'Resistencia\_barra' software interface, organized into several functional panels:

- DATOS DE INICIO:** Shows the selected profile (HEA 200) and internal forces: Axial (kN) = -150, Momento (kN·m) = 42 (Eje Y), 31 (Eje Z), and Cortante (kN) = 63, 0.
- DATOS DE PANDEO:** Allows selection of tramos (1) for Eje Y and Eje Z, with associated slenderness ratios ( $\lambda$ ) and reduction coefficients ( $\chi$ ).
- DATOS DE PANDEO LATERAL:** Includes section selection and the XLT value (0.766).
- CALCULO COEFICIENTE K:** Displays interaction coefficients:  $K_y = 1.034$ ,  $K_z = 0.000$ , and  $K_{yLT} = 0.984$ .
- RESULTADO:** Provides slenderness and exhaustion results for the entire piece and for torsion-susceptible parts, all marked as 'CUMPLE' (complies).
- CALCULO DE COEFICIENTES  $C_m$ :** Features a 'Calculo de Coeficientes  $C_m$ ' section with radio buttons for 'Calcular  $C_m$ ' (selected) and ' $C_m = 0,9$ '. It includes a dropdown for moment cases (1) and input fields for  $M_h$  (60 kN·m) and  $\Psi \cdot M_h$  (35 kN·m), resulting in  $C_{mY} = 0.83$ .
- DIAGRAMAS:** A vertical stack of five diagrams labeled 'CASO 1' through 'CASO 5', each showing a different moment distribution along the bar.
- Calculo Coeficiente  $C_{mZ}$ :** Similar to the  $C_m$  section, but with 'Calculo  $C_{mZ}$ ' selected and resulting in  $C_{mZ} = 0.00$ .
- Calculo Coeficiente  $C_{mLT}$ :** Features 'Calculo  $C_{mLT}$ ' selected, resulting in  $C_{mLT} = 0.89$ .

At the bottom of the window are 'Calcular' and 'Volver' buttons.

Dentro del concepto de Cálculos se desglosan los siguientes apartados:

- Cálculo del Coeficiente del Momento Equivalente  $C_{mi}$ .- Esta apartado está destinado a calcular los diferentes coeficientes del momento equivalente ( $C_{mi}$ ). Se trata de una ventana interactiva a pesar de ser un apartado que muestra datos de cálculo, que se ha diseñado de esta manera con el objetivo fundamental de enmarcar al alumno en el cálculo de cada parámetro, focalizando en el mismo los datos necesarios para ello. Así, el apartado se estructurada en tres series de introducción de datos, una para cada coeficiente  $C_{my}$ ,  $C_{mz}$ , y  $C_{mLT}$ . Cada coeficiente se determina a través del diagrama de momentos flectores que más se acerque a la situación de la barra de los que se muestran a la derecha de la comprobación (5 CASOS), para el eje de flexión correspondiente a cada coeficiente, y para la dimensión entre puntos arriostrados oportuno. Por tanto, cada coeficiente se calcula de forma similar, teniendo en cuenta su eje de flexión y la situación de puntos arriostrados.
- Cálculo de los Coeficientes de Interacción "k".- Según se especifica en el DB SE-A del CTE, se establecen los siguientes coeficientes:  $k_y$ ,  $k_z$  y  $k_{LT}$ . Las fórmulas que determinan cada valor necesitan definir previamente los valores de esbeltez, coeficientes de reducción por pandeo los coeficientes del momento equivalentes, por lo que en este caso, se generan automáticamente los valores cuando se actúa sobre el botón resultados.

Los resultados se generan de forma similar al obtenido en la comprobación de Resistencia de la Sección, de manera se incorpora el criterio de validez del perfil (CUMPLE o NO CUMPLE) a la vez que se muestra el Nivel de Agotamiento desglosado por la cuantía correspondiente a cada tipo de esfuerzo calculado según se especifica en el CTE para esta comprobación.

## 5. Utilidad en docencia

El resultado de este trabajo se refleja en la Herramienta APERMET© para el cálculo de Perfiles Metálicos según el Código Técnico de la Edificación, con carácter claramente destinado a su uso en la docencia en la ingeniería, aunque con la posibilidad de ser utilizado en la actividad profesional.

Así, en el trascurso de las asignaturas, se presenta la herramienta a los alumnos como un utensilio de apoyo con el que pueden optimizar el tiempo de dedicación a esta asignatura, ya que a la vez de que realizan el estudio y los ejercicios de forma manual, pueden comprobar y/o avanzar en los ejercicios propuestos modificando diferentes situaciones con las que afianzar los conceptos aplicados.

La experiencia tras varios años presentando la herramienta muestra que el uso de esta herramienta no presenta una actividad muy elevada en los alumnos que cursan las asignaturas con asistencia regular a las clases presenciales, ya que optan por preguntar de forma directa en las horas de tutoría o clase.

Sin embargo, resulta gratamente destacable que la utilización de esta herramienta se encuentra muy extendida entre la proporción de alumnos que por diversas circunstancias no pueden asistir de forma ordinaria a las clases presenciales y/o tutorías, y necesitan un esfuerzo extra para afianzar los conceptos estudiados. De esta manera es muy útil para ellos utilizar una herramienta que les ayuda a corroborar que el trabajo que realizan sobre la asignatura es correcto y en caso contrario, focalizar rápidamente el concepto erróneo para avanzar y aquilatar los conceptos sobre los que trabajan.

Como se ha indicado, resulta muy importante para ellos el poder identificar los errores cometidos puesto que la gran cantidad de cálculos necesarios para la ejecución de un

problema pueden generar incertidumbre de cuando y donde presenta error la resolución propuesta.

Además, el diseño de pantalla evolutiva, ayuda a afianzar cada concepto de comprobación, de manera que se les facilita de forma visual e intuitiva la evolución a seguir en las diferentes comprobaciones a realizar. Utilizar aplicaciones estilo Windows a la que los alumnos están muy acostumbrados a emplear hace muy atractiva su utilidad.

## **6. Conclusiones**

Las principales conclusiones que se obtienen tras la generación de la herramienta y la puesta a disposición de los alumnos son las siguientes:

- El programa se adapta muy bien y de forma estructurada a los contenidos de las asignaturas, por lo que perfectamente se puede utilizar para su apoyo en docencia.
- El carácter evolutivo de su interface permite guiar al alumno en la comprensión de los problemas optimizando los tiempos dedicados al estudio.
- Resulta destacable que la mayor actividad con esta herramienta se presenta por parte de los alumnos que no asisten de forma regular a las clases presenciales, encontrando en la herramienta APERMET un complemento muy valioso para el aprendizaje.
- De la experiencia, se plantea la herramienta como complemento muy interesante a utilizar en las nuevas formaciones que están surgiendo en la actualidad, fundamentadas en docencia telemática o a través de internet, donde APERMET ayudaría claramente a potenciar el estudio en las asignaturas relacionadas con el cálculo estructural, ya que aunque como se ha comentado su utilización necesita un conocimiento previo en cálculo de estructuras, su facilidad de manejo hace muy intuitivo y rápido su aprendizaje.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- CTE (2006). Código Técnico de la Edificación, Ministerio de Vivienda, Madrid, España.
- EAE (2011). Instrucción del Acero Estructural, Ministerio de Fomento, Madrid, España.
- UNE-ENV 1993-1-1 (1992). Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1, AENOR, Madrid, España.