



PRONTUARIO INFORMATICO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS Y MIXTAS

MANUAL

Alejandro Pérez Caldentey
Ismael Fernández-Espartero Rodríguez-Barbero



ArcelorMittal

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	4
2	PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROGRAMA	5
2.1	Crear un proyecto	5
2.2	Configuración	7
2.3	Opciones principales	8
2.4	Ayuda	9
2.5	Memoria	11
2.6	Instalación	13
3	HIPÓTESIS ADOPTADAS PARA LA REDACCIÓN DE LOS PROGRAMAS	13
3.1	Materiales	13
3.1.1	Propiedades del acero estructural	13
3.1.2	Propiedades del Hormigón	14
3.1.3	Propiedades del acero pasivo	16
3.1.4	Crear ecuaciones constitutivas	17
3.2	Secciones	22
3.2.1	Abrir una sección	22
3.2.2	Crear secciones parametrizadas	24
3.2.3	Crear perfiles laminados	25
3.2.4	Crear/Editar Sección Genérica	27
3.2.5	Diagrama momento curvatura	31
3.3	Análisis	33
3.3.1	Geometría de la estructura	33
3.3.1	Apoyos y definición de las secciones	34
3.3.2	Cargas	36
3.3.3	Esfuerzos	37
3.3.4	Reacciones	39
3.3.5	Desplazamientos	39
3.3.1	Resultados	40

3.4	Estados Límite Últimos	41
3.4.1	Datos generales	41
3.4.2	Determinación de la clase de la sección	42
3.4.3	Máximo axil de tracción	43
3.4.4	Máximo axil de compresión	45
3.4.1	Máximo Momento flector	46
3.4.2	Esfuerzo cortante	47
3.4.3	Interacción Momento-Axil	49
3.4.4	Interacción Flexión-Cortante	52
3.4.5	Interacción Axil- M_y - M_z	53
3.5	Estado Límite de Servicio	54
3.6	Uniones	55
3.6.1	Uniones atornilladas	55
3.6.2	Uniones Soldadas	63
3.7	Durabilidad	67
3.8	Resistencia al Fuego	71
4	EJEMPLOS	73
4.1	Pasarelas metálicas de conexión entre aparcamiento y Terminal 4 del aeropuerto de Madrid-Barajas	73
4.1.1	Comprobación pila <i>Pasillo Este</i>	74
4.2	Ejemplos de cálculo de una unión soldada lateral	79
4.2.1	Ejemplo 1. Soldaduras sometida a torsión exclusivamente	79
4.2.1	Ejemplo 2. Reparto del cortante entre soldaduras horizontales y verticales	81
5	DESARROLLOS FUTUROS	84
6	BIBLIOGRAFÍA	84
7	NOTACIÓN	85

1 INTRODUCCIÓN

La realización de este prontuario ha sido impulsada por APTA (la Asociación para la Promoción Técnica del Acero) a partir de la idea de que la complejidad operativa de los cálculos necesarios para abordar el proyecto estructuras metálicas y mixtas ha alejado a muchos proyectistas de las soluciones estructurales de acero por falta de herramientas adecuadas y que un prontuario de estas características podría contribuir a acercar a los proyectistas al mundo del acero y a favorecer el planteamiento de soluciones de un indiscutible valor técnico y económico.

Este prontuario se plantea también con la idea de sustituir los prontuarios en papel con los que trabajan todavía los ingenieros, ganando en generalidad a base de aprovechar la capacidad de la informática en el manejo de grandes cantidades de información.

Otra idea que subyace en la concepción de esta herramienta informática es el hecho de que las bases del cálculo son las mismas independientemente de los materiales utilizados, y en ese sentido, se ha querido incluir en un mismo envase el hormigón y el acero, que se funden en las estructuras mixtas. Los algoritmos de cálculo generales son los mismos para ambos materiales, aunque en cada caso el material introduce particularidades propias, como, por ejemplo, la inestabilidad de chapas del acero o el comportamiento reológico del hormigón.

Finalmente se ha querido dotar a este prontuario de generalidad en lo referente a la normativa y en lo referente al idioma. Por ello se han implementado las prescripciones tanto de los Eurocódigos ([2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]), como de la normativa española (CTE [9], EAE [10], EHE-08 [11]). La implementación de los Eurocódigos incluye la posibilidad de particularizar las variables identificadas como parámetros nacionales para adaptarlas a los anejos nacionales de cada país mediante archivos de configuración. En lo referente al idioma, todos los textos incluidos en el programa se encuentran en un archivo de texto de tal forma que el idioma se puede modificar simplemente traduciendo este archivo. Por defecto se incluyen los archivos correspondientes al español y al inglés.

El prontuario se estructura mediante distintos módulos que pretenden dar un visión amplia del problema, aunque necesariamente no exhaustiva. De esta manera existe un módulo de materiales que permite generar ecuaciones constitutivas, examinar las propiedades que deben cumplir los materiales en función de su calidad, y calcular algunas propiedades de los mismos (módulos de deformación, fluencia y retracción del hormigón), un módulo de secciones que permite generar secciones parametrizadas, incluyendo perfiles laminados y construir secciones genéricas mediante combinación de secciones ya generadas, definición de nuevas partes, giros, traslaciones y espejos, un módulo de análisis estructural, que permite calcular esfuerzos, deformaciones y reacciones de un amplio abanico de estructuras tipo, un

módulo de servicio que permite llevar a cabo comprobaciones tensionales, un módulo de estado límite último que incluye verificaciones de secciones sometidas a axil, flexión (esviada o no) y cortante, un módulo de fuego que desarrolla el método simplificado del Eurocódigo (1991-1-2 y 1993-1-2) y un módulo de durabilidad que implementa para el hormigón las prescripciones de la EHE-08 y para el acero recomienda posibles alternativas de protección en función de los ambientes definidos por la ISO 12.944-2 [12].

Otro aspecto que da potencia a la herramienta es la posibilidad de ir generando progresivamente una memoria con los cálculos realizados. El usuario puede ir generando un archivo ASCII que se puede gestionar desde el programa donde se va indicando la estructura del documento de la memoria y los resultados gráficos y numéricos a incluir en cada apartado. A partir de este archivo, el programa permite generar un documento de Word.

Este Prontuario informático se enmarca dentro de una larga tradición iniciada en la Cátedra de Hormigón de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos en los años 80. En particular, este trabajo lo ha sido impulsado por el importante éxito alcanzado por el Prontuario Informático del Hormigón Estructural [1], una herramienta concebida en un principio con fines docentes que, con el tiempo, se ha transformado también en una herramienta de diseño y comprobación, utilizada de forma cotidiana en los estudios de ingeniería y arquitectura.

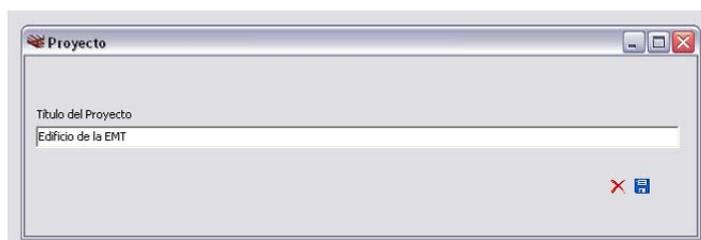
2 PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROGRAMA

2.1 Crear un proyecto

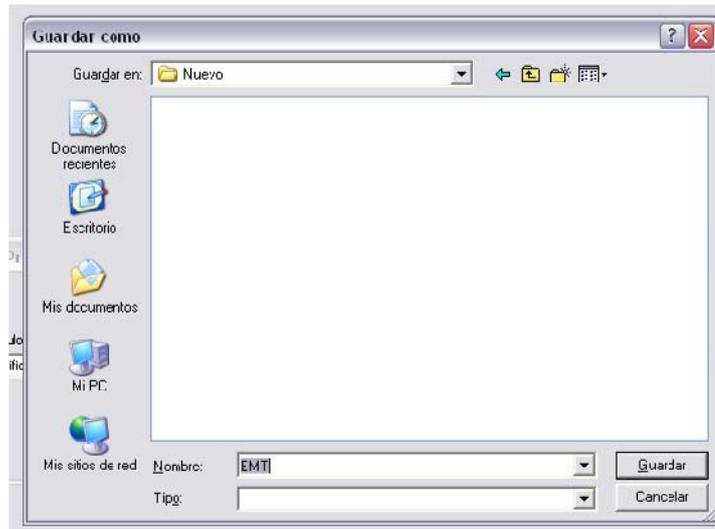
El primer paso en el uso del Prontuario de Estructuras Metálicas y Mixtas, tras su instalación, es abrir o crear un proyecto nuevo. Esta tarea se realiza mediante la opción *Proyecto* del menú superior.



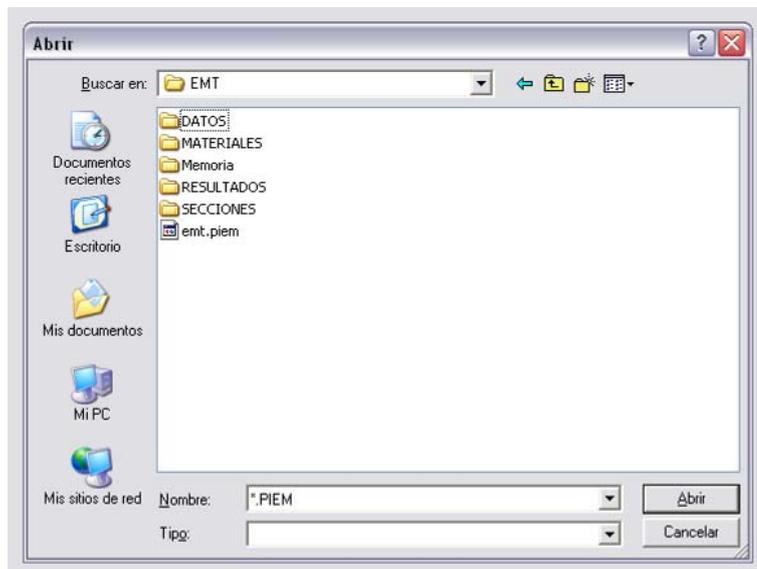
Si se trata de crear un proyecto nuevo, se abrirá una nueva ventana solicitando una descripción del mismo. De esta ventana se puede salir, ya sea cancelando la acción , o pulsando el botón de grabar .



En este último caso se abrirá un diálogo que permitirá crear el proyecto.



Al pulsar el botón de grabar se creará, en este caso, el directorio EMT, en la ruta especificada, y dentro de él, un archivo llamado EMT.PIEM (en el cual se graba la configuración del último proyecto utilizado) y la siguiente estructura de directorios:



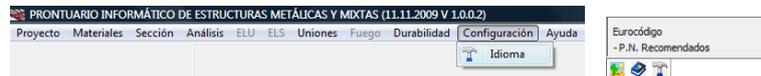
En la carpeta de DATOS se almacenan los archivos de las estructuras tipo que se pueden crear con el módulo de Análisis, en la carpeta de MATERIALES, las ecuaciones constitutivas de los materiales creados, en la carpeta de SECCIONES los archivos con la definición de las distintas secciones y, por último en la carpeta de RESULTADOS se almacenan los resultados que se el usuario va indicando al programa que desea almacenar en la memoria y resultados intermedios, como, por ejemplo, los puntos del diagrama momento-curvatura.

Una vez creado o abierto el proyecto, en la barra inferior de la pantalla aparece el título del mismo y la ruta del archivo de datos correspondiente.



2.2 Configuración

El siguiente paso tras crear el proyecto es definir la configuración del programa. Los parámetros que se pueden modificar son: el idioma, la normativa, la discretización de las estructuras a utilizar en el módulo de Análisis y el número de puntos a utilizar en la generación del diagrama momento-curvatura y en los diagramas de interacción de esfuerzos. Todos estos datos se pueden modificar mediante la opción Configuración, a la que se puede acceder mediante el menú superior o mediante la barra de herramientas situada en la esquina izquierda inferior de la pantalla.



En la pantalla de configuración se puede elegir el idioma. En esta versión del programa está soportado el español, inglés y francés. Los textos correspondientes a estos idiomas se incluyen en los archivos ASCII PIEM\Idiomas\textos.ESP.txt, PIEM\Idiomas\textos.ENG.txt y PIEM\Idiomas\textos.FRA.txt. Adicionalmente, existe un tercer archivo PIEM\Idiomas\textos.UDF.txt que está pensado para que el usuario pueda traducir el prontuario a cualquier otro idioma incluyendo en él los textos correspondientes e indicando en la pantalla de configuración que el idioma a utilizar el definido por el usuario. Por defecto este archivo es una copia de la versión inglesa.

Además en esta pantalla se elige la normativa que se quiere utilizar para realizar los cálculos. Se puede elegir entre Eurocódigos y la normativa nacional española. En los Eurocódigos se pueden elegir ya sea los parámetros recomendados o los parámetros nacionales de los cinco grandes países europeos. Los parámetros nacionales se almacenan en ficheros ASCII denominados PIEM\Normas\NDPs-XX.txt, donde XX=EN_Std/ES/DE/FR/UK/IT en función de que se quiera especificar que se utilicen los valores recomendados del Eurocódigo, o los parámetros nacionales de España, Alemania, Francia, Reino Unido o Italia respectivamente. En la edición actual no existen los archivos correspondientes a los distintos países, puesto que se trata de datos que aún están en elaboración. No obstante el usuario puede crearlos a partir de los borradores existentes. Estos archivos están estructurados de forma que sea fácil identificar los parámetros que se solicitan. Como ejemplo, a continuación se incluye la cabecera correspondiente a los coeficientes de minoración del acero:

[1993-1-8:2005 2.2(2)]
 GammaM3=1.25
 GammaM3,ser=1.1
 GammaM4=1.0
 GammaM5=1.0
 GammaM6,ser=1.0
 GammaM7=1.1
 EOCab

Como puede verse, la cabecera indica el apartado del Eurocódigo donde se definen los valores recomendados y a continuación los valores con un texto explicativo de cada uno de ellos.

Al elegir la normativa a utilizar se actualiza el cuadro situado en la esquina inferior izquierda de tal forma que el usuario es consciente, en cada momento, de los parámetros de cálculo que está utilizando.



Se recomienda fijar la norma de cálculo tras la creación del proyecto y **antes de efectuar cálculos**, puesto que si se produce un cambio habiendo generado previamente resultados con configuración diferente se podrían producir contradicciones entre éstos y otros resultados generados posteriormente.

2.3 Opciones principales

Como se expuso en la introducción, el programa está estructurado en una serie de módulos que figuran en el menú principal.

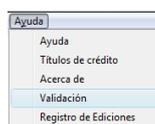
Estos módulos se describen en detalle en los apartados siguientes. A continuación se proporciona una breve descripción de dichos módulos con objeto de que el usuario pueda disponer de una visión global antes de entrar en los detalles:

- Módulo de **MATERIALES**. Este módulo permite obtener información acerca de las características que deben cumplir los aceros estructurales, los aceros pasivos y el hormigón. Igualmente, a partir de este módulo, se pueden generar ecuaciones constitutivas con las que se puede trabajar en los restantes módulos. Debe destacarse también la posibilidad de calcular las propiedades mecánicas instantáneas y diferidas del hormigón.
- Módulo de **SECCIONES**. Este módulo permite visualizar las características de secciones existentes, crear secciones genéricas o parametrizadas (incluyendo una amplia gama de perfiles laminados) y calcular el diagrama momento-curvatura para un axil dado, con la posibilidad de considerar o no abolladura de las chapas.

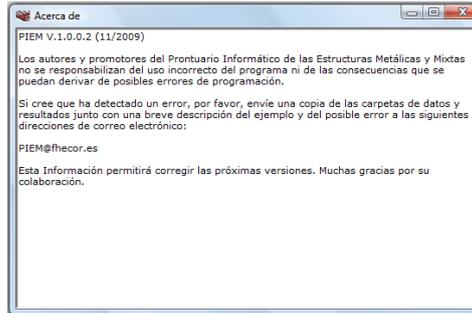
- Módulo de **ANÁLISIS**. Este módulo permite el cálculo de estructuras sencillas parametrizadas (obtención de desplazamientos, esfuerzos y reacciones) con gran libertad en lo referente a las condiciones de apoyos y a las cargas aplicadas.
- Módulo de **ELU**. El módulo ELU permite obtener los esfuerzos resistentes de las secciones creadas con el módulo de secciones. Se puede obtener la capacidad resistente frente a una sollicitación dada o frente a esfuerzos combinados (diagramas de interacción Axil-flector, Momento-Cortante (para un axil dado), Momento en dos direcciones (para un axil dado), teniendo en cuenta la inestabilidad de chapas y el posible pandeo del elemento si está comprimido.
- Módulo de **ELS**. El módulo de ELS permite obtener el estado tensional de una sección sometida a flexión compuesta. Este módulo puede considerar o no la posible abolladura de las chapas.
- Módulo de **UNIONES**. El módulo de uniones contempla tanto uniones atornilladas como soldadas frontales y laterales. Las uniones atornilladas siguen el desarrollo de las referencias [14] y [15]. Las uniones soldadas permiten abordar con gran generalidad distintas geometrías de disposición de los cordones que la componen.
- Módulo de **FUEGO**. El módulo de fuego implementa el método simplificado propuesto por los Eurocódigos (ver [2] y [5]) para estimar el tiempo de colapso de un elemento estructural en función de la protección de la que dispone y el nivel de carga al que está sometido.
- Módulo de **DURABILIDAD**. Por último, el módulo de durabilidad proporcionan la definición de ambientes a efectos de la protección de los aceros estructuras de acuerdo con la norma ISO 12.944-2 [12] y proporciona algunas indicaciones acerca de posibles alternativas de protección. Igualmente, en lo referente al hormigón, este módulo permite establecer en función de la clase general y de la clase específica de exposición (según la definición de la EHE-08 [11]) la resistencia mínima, el contenido mínimo de cemento, la relación agua/cemento máxima y los recubrimientos mínimos.

2.4 Ayuda

Desde el programa se puede acceder a este documento, estructurado por apartados mediante la opción *Ayuda* del menú principal.



Este menú incluye además información importante relativa a la versión del programa que está ejecutando el usuario y acerca de la forma de proceder si éste detecta un posible error del programa.

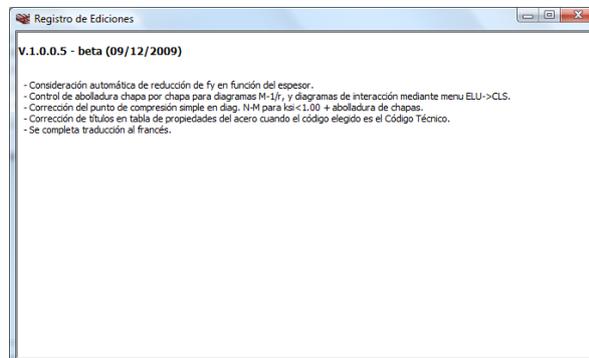


Este menú permite, además, acceder al archivo de validación del PIEM. En este archivo se comprueban los resultados de una serie de casos prácticos y se comparan con cálculos independientes, verificando que, en los casos estudiados, los resultados son correctos. Este archivo puede aportar igualmente información a los usuarios acerca de los criterios de cálculo adoptados por la aplicación. Se trata de un documento que irá aumentando su información con las sucesivas versiones/compilaciones del programa.

VALIDACIONES MÓDULO PIEM

1	Momento debido a la excentricidad entre la sección bruta y la sección eficaz.....	2
1.1	Datos.....	2
1.2	Centro de gravedad de la sección bruta.....	2
1.3	Centro de gravedad de la sección eficaz.....	3
1.4	Resultado PIEM.....	3
1.5	Resultado teórico.....	3
1.6	Resultado de la Validación.....	3
2	Cálculo a cortante – Perfil laminado.....	4
2.1	Perfil HP-360x180.....	4
2.1.1	Cálculo teórico.....	4
2.1.2	Cálculo PIEM.....	4
2.1.3	Resultado de la Validación.....	4
2.2	Perfil Tubular $\phi 200 \times 12$	4
2.2.1	Cálculo teórico.....	5
2.2.2	Cálculo PIEM.....	5
2.2.3	Resultado de la Validación.....	5

Por último el menú de Ayuda permite acceder al Registro de Ediciones, donde se pueden consultar los principales cambios que se han producido al cambiar la versión del programa.



2.5 Memoria

Los gráficos y tablas que genera el programa pueden almacenarse en formato HTML y .jpg o .emf, respectivamente. Esto se consigue utilizando iconos  ó . Tras efectuar esta operación se activa a la izquierda de la pantalla un árbol que permite gestionar todos los resultados generados, cambiando tablas de lugar o editando títulos y marcando los resultados que se quieren imprimir.

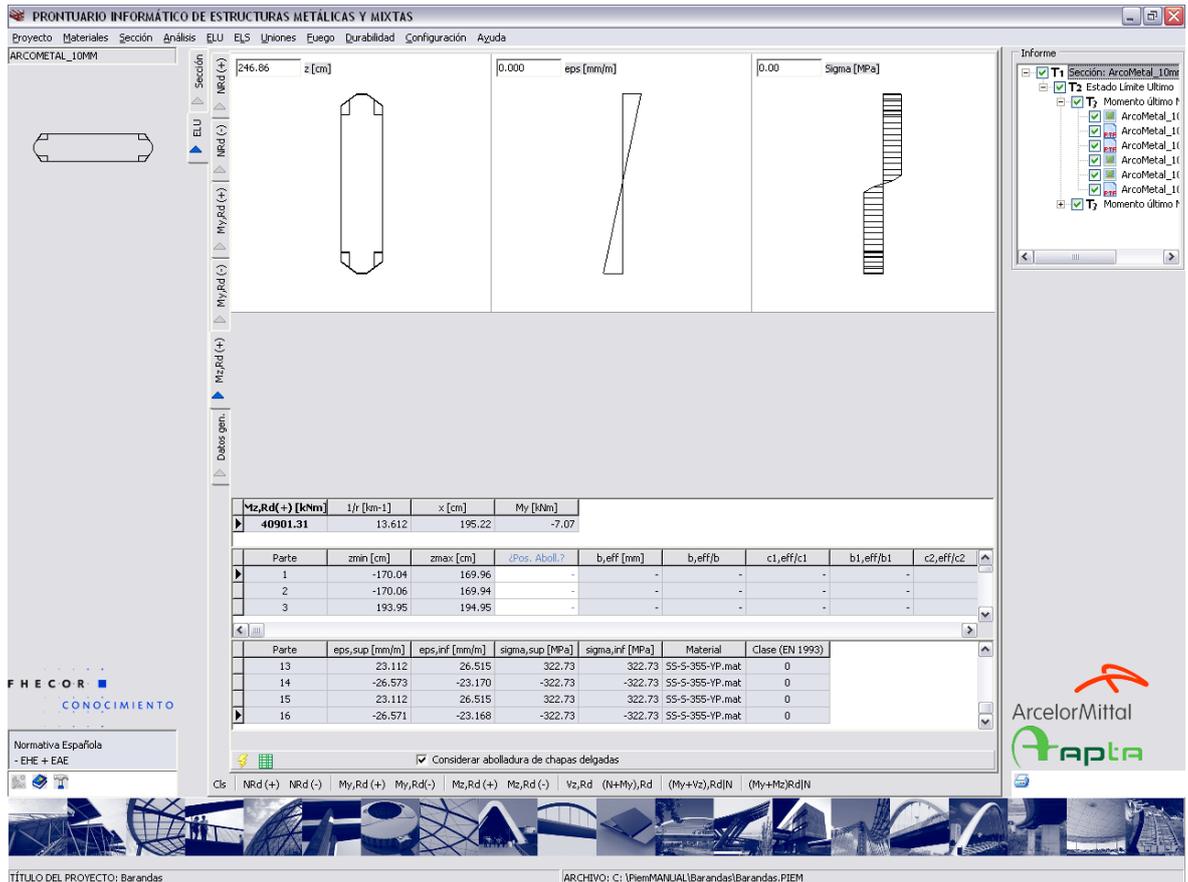


Table 1: Section Properties

Mz,Rd(+) [kNm]	1/l [km-1]	x [cm]	My [kNm]
40901.31	13.612	195.22	-7.07

Table 2: Part Dimensions

Parte	zmin [cm]	zmax [cm]	zPos. Aboll.?	b,eff [mm]	b,eff/b	c1,eff/c1	b1,eff/b1	c2,eff/c2
1	-170.04	169.96	-	-	-	-	-	-
2	-170.06	169.94	-	-	-	-	-	-
3	193.95	194.95	-	-	-	-	-	-

Table 3: Material Properties

Parte	eps,sup [mm/m]	eps,inf [mm/m]	sigma,sup [MPa]	sigma,inf [MPa]	Material	Clase (EN 1993)
13	23.112	26.515	322.73	322.73	S5-S-355-YP.mat	0
14	-26.573	-23.170	-322.73	-322.73	S5-S-355-YP.mat	0
15	23.112	26.515	322.73	322.73	S5-S-355-YP.mat	0
16	-26.571	-23.168	-322.73	-322.73	S5-S-355-YP.mat	0

Una vez generados los resultados deseados y organizados según los criterios del usuario, se puede obtener un archivo Word mediante el icono . Tras usos segundos aparecerá un mensaje indicando que dicho archivo ha sido generado.

Piem Beta

Memoria generada y guardada en :
 C:\Piem\MANUAL\Barandas\Memoria\Informe PIEM.dwg

OK

Mz,Rd (+) [kNm]	1/l [km-1]	x [cm]	My [kNm]
40901.31	13.612	195.22	-7.07

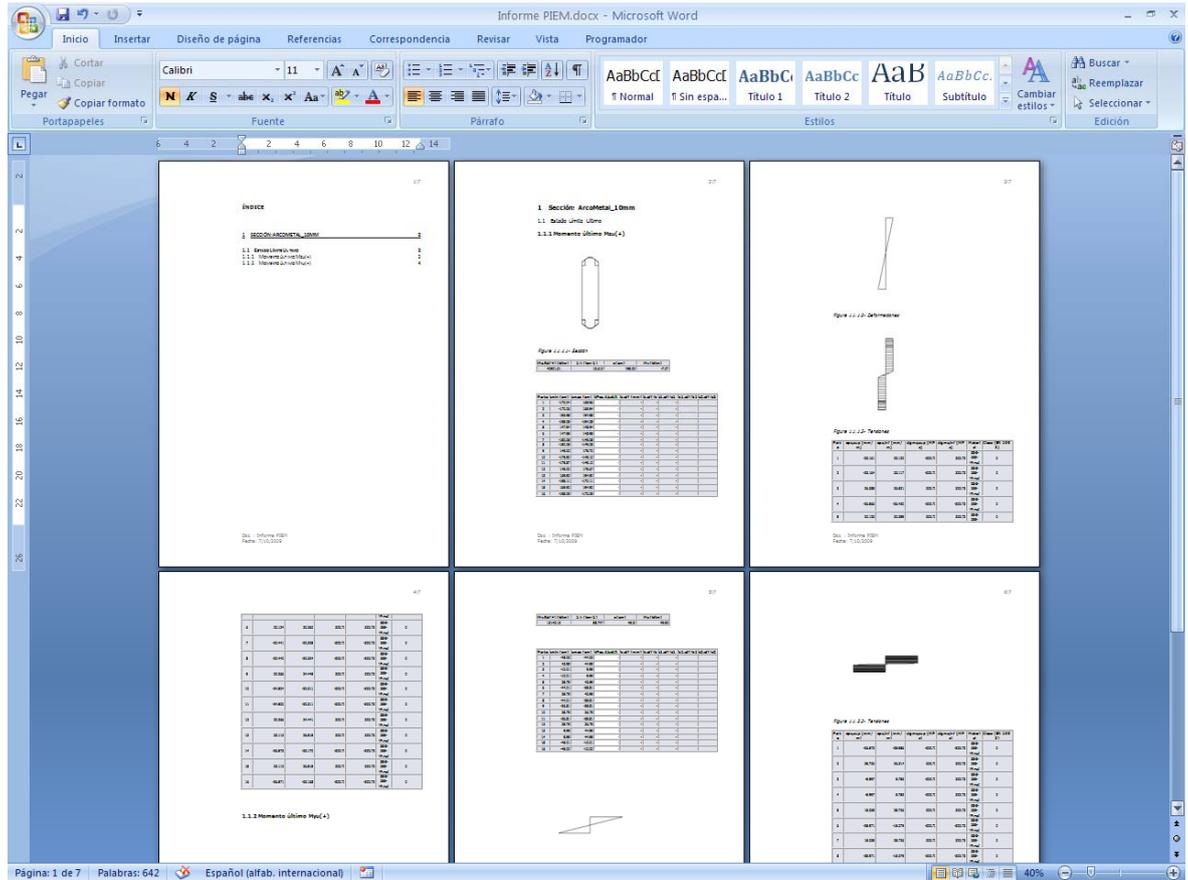
Parte	zmin [cm]	zmax [cm]	zPos. Aboll.?	b,eff [mm]	b,eff/b	c1,eff/c1	b1,eff/b1	c2,eff/c2
1	-170.04	169.96	-	-	-	-	-	-
2	-170.06	169.94	-	-	-	-	-	-
3	193.95	194.95	-	-	-	-	-	-

Parte	eps_sup [mm/m]	eps_inf [mm/m]	sigma_sup [MPa]	sigma_inf [MPa]	Material	Clase (EN 1993)
13	23.112	26.515	322.73	322.73	S5-S-355-YP.mat	0
14	-26.573	-23.170	-322.73	-322.73	S5-S-355-YP.mat	0
15	23.112	26.515	322.73	322.73	S5-S-355-YP.mat	0
16	-26.571	-23.168	-322.73	-322.73	S5-S-355-YP.mat	0

Considerar abolladura de chapas delgadas

TÍTULO DEL PROYECTO: Barandas ARCHIVO: C:\Piem\MANUAL\Barandas\Barandas.PIEM

En la imagen siguiente se puede ver el aspecto del documento generado.



El formato del archivo Word se puede parametrizar modificando el archivo *estilos_memoria_fhp.ini* que se encuentra en la carpeta \DLL's de la instalación.

2.6 Instalación

El programa viene con un instalador que crea la estructura de datos necesaria para el correcto funcionamiento del programa e inserta en el menú inicio→programas un acceso directo al ejecutable y a este Manual. La instalación incluye además un desinstalador que debe usarse al actualizar la versión de la aplicación.

3 HIPÓTESIS ADOPTADAS PARA LA REDACCIÓN DE LOS PROGRAMAS

3.1 Materiales

El módulo de materiales permite visualizar las principales propiedades del acero estructural, del hormigón y del acero pasivo y crear ecuaciones constitutivas para los distintos materiales.

3.1.1 Propiedades del acero estructural

La pantalla de propiedades del acero estructural informa acerca de las principales propiedades de este material. Algunos datos son parámetros nacionales y, por esta razón,

aparecen rodeados de un recuadro. Estos son la relación mínima entre tensión máxima y tensión de plastificación (f_u/f_y), el valor mínimo de la deformación que corresponde a la tensión máxima (ε_u), y la relación mínima que debe existir entre la deformación correspondiente a la tensión máxima y la deformación de plastificación ($\varepsilon_u/\varepsilon_y$). En esta pantalla aparece también la forma de la ecuación constitutiva real de los aceros estirados en frío y de los laminados en caliente (en distintas pantallas). Por último se incluye una tabla que indica para los distintos aceros definidos en las distintas normativas europeas, los valores mínimos de la tensión de plastificación y de la tensión de rotura, en función del espesor de chapa utilizado.

$E = 210000 \text{ MPa}$
 $G = \frac{E}{2(1+\nu)} \approx 81000 \text{ MPa}$
 $\nu = 0.3$
 $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$\frac{f_u}{f_y} \geq 1.10$
 $\varepsilon_f \geq 15\%$
 $\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} \geq 1.5$

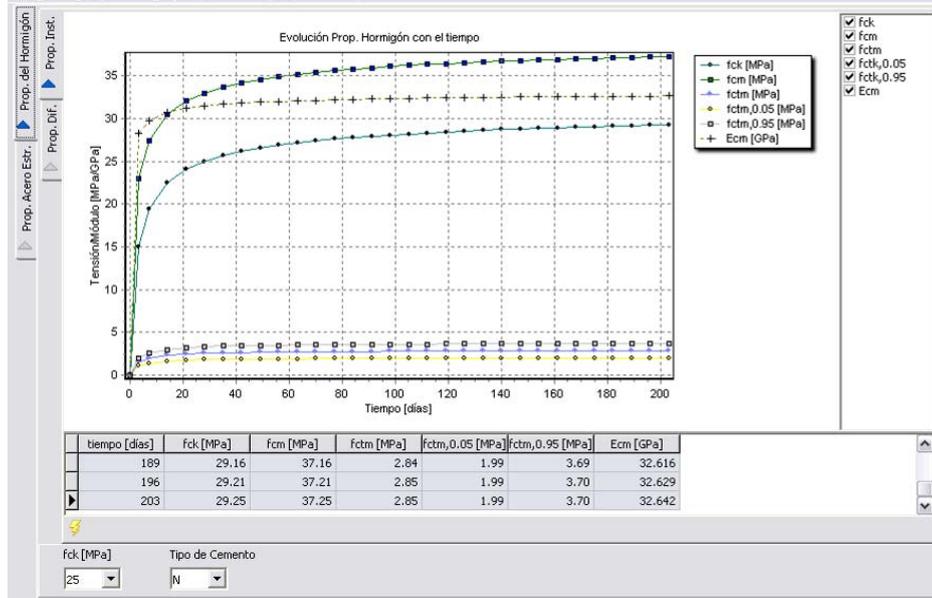
Norma: EN 10025-2 Aceros estructurales laminados en caliente y sin aleaciones

Calidad de acero	f_y [MPa] $t < 40$ mm	f_u [MPa] $t < 40$ mm	f_y [MPa] $40 < t < 80$ mm	f_u [MPa] $40 < t < 80$ mm
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550

3.1.2 Propiedades del Hormigón

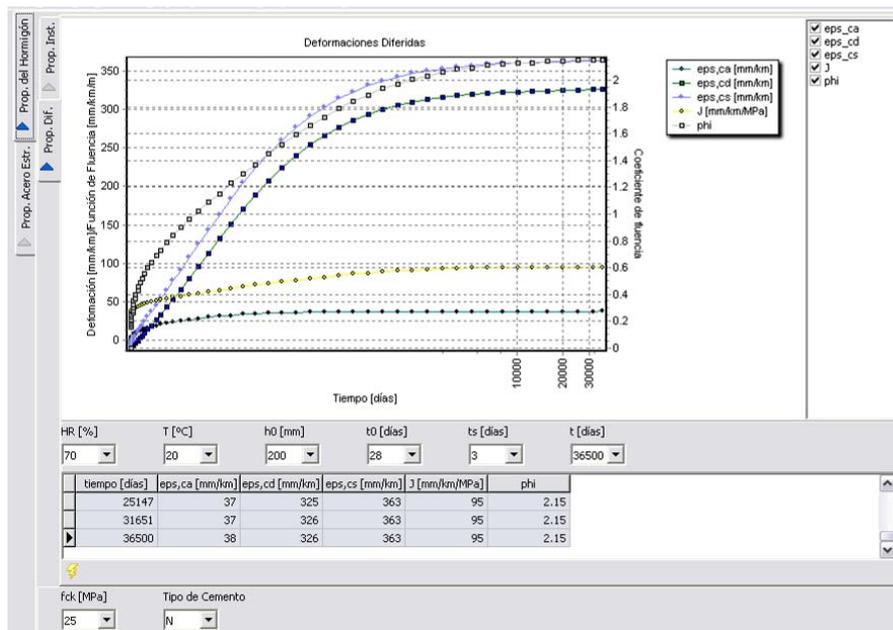
La opción de propiedades del hormigón incluye dos pestañas, una dedicada a las propiedades instantáneas y otra a las propiedades diferidas.

En lo referente a las propiedades instantáneas se muestra, en función de la resistencia característica del hormigón y en función del tipo de cemento, la evolución a corto plazo de la resistencia característica y media a compresión, de la resistencia característica superior, media y característica inferior a tracción y del módulo de deformación secante.



Se pueden eliminar y recuperar del gráfico los resultados que se quiera mediante la desactivación o activación de la serie correspondiente utilizando es recuadro situado en la esquina superior derecha de esta hoja de resultados.

En lo referente a las propiedades diferidas, se muestran en función de todos los parámetros considerados en los modelos de la EHE-08/Eurocódigo 2 (que coinciden) (resistencia, tipo de cemento, humedad relativa, temperatura, espesor ficticio, tiempo de puesta en carga, tiempo de curado y tiempo de cálculo), la evolución con el tiempo de la deformación de retracción autógena, de secado y total, la evolución de la función de fluencia (eje de ordenadas izquierdo) y la evolución del coeficiente de fluencia (eje de ordenadas derecho).



Al igual que con la pantalla anterior se pueden activar y desactivar las curvas que se quiera.

3.1.3 Propiedades del acero pasivo

En esta pantalla se indican algunas de las condiciones que deben cumplir los aceros pasivos. Como se puede ver en las pantallas siguientes, los resultados obtenidos difieren en función de la normativa utilizada. Se indican los valores establecidos para el módulo de deformación longitudinal, la densidad, el área relativa mínima de las corrugas en función del diámetro de las barras, así como las calidades de los aceros definidas en función de la normativa (Eurocódigos o EHE). Para cada calidad se indican las condiciones que tiene que cumplir, siendo éstas más numerosas en el caso de la EHE-o8 que impone valores mínimos no solamente a la deformación bajo carga máxima sino también a la deformación de rotura.

$E_s = 200000 \text{ GPa}$
 $\gamma_s = 7850 \text{ kg/m}^3$
 $k = \left(\frac{f_t}{f_y} \right)_k$
 $f_{y,max} \leq 1.3 f_{yk}$
 $f_{t,min} \rightarrow \begin{cases} 0.035 & 5 \leq \phi \leq 6 \text{ mm} \\ 0.040 & 6.5 \leq \phi \leq 12 \text{ mm} \\ 0.056 & \phi > 12 \text{ mm} \end{cases}$

$f_t = k f_{0.2k}$
 $f_{0.2k}$

Clase	$f_{yk}/f_{0.2k}$ [MPa]	k (f_t/f_y)	$\epsilon_{su,k}$ [%]
A	400-600	≥ 1.05	≥ 2.5
B	400-600	≥ 1.08	≥ 5.0
C	400-600	$1.15 < k < 1.35$	≥ 7.5

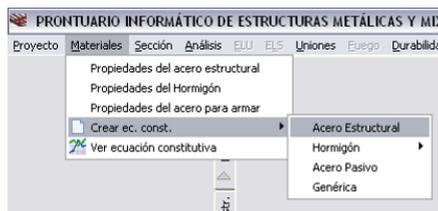
$E_s = 200000 \text{ GPa}$
 $\gamma_s = 7850 \text{ kg/m}^3$
 $k = \left(\frac{f_t}{f_y} \right)_k$
 $f_{t,min} \geq \begin{cases} 0.039/0.045 & \phi \leq 6 \text{ mm} \\ 0.045/0.051 & \phi = 8 \text{ mm} \\ 0.052/0.058 & \phi = 10 \text{ mm} \\ 0.056/0.062 & \phi = 12-16 \text{ mm} \\ 0.056/0.064 & \phi = 20-40 \text{ mm} \end{cases}$

$f_t = k f_{yk}$
 f_{yk}

Designación	f_y [MPa]	f_t [MPa]	$\epsilon_{su,5}$ [%]	ϵ_{su} máx barra [%]	ϵ_{su} máx rollo [%]
B 400 S	≥ 400	≥ 440	≥ 14	≥ 5.0	≥ 7.5
B 500 S	≥ 500	≥ 550	≥ 12	≥ 5.0	≥ 7.5
B 400 SD	≥ 400	≥ 480	≥ 20	≥ 7.5	≥ 10.0
B 500 SD	≥ 500	≥ 575	≥ 16	≥ 7.5	≥ 10.0
B 500 T	≤ 500	≥ 550	≥ 8	≥ 8	-

3.1.4 Crear ecuaciones constitutivas

Se accede a las opciones para crear ecuaciones constitutivas mediante el menú superior Materiales→Crear ec. const. Existen cuatro submenús que permiten crear ecuaciones para el acero estructural, el hormigón y el acero pasivo. Adicionalmente, existe la posibilidad de definir un material genérico, mediante la definición por puntos del diagrama tensión-deformación.

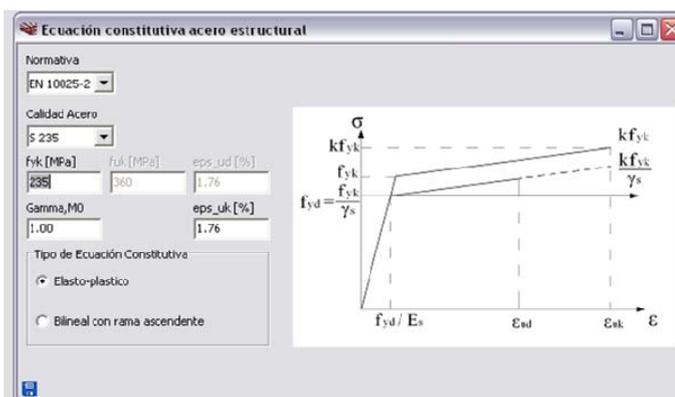


Acero Estructural

Al pulsar en la opción Acero Estructural, se abre una pantalla que permite generar la ecuación constitutiva. Esta pantalla permite elegir entre los distintos aceros estructurales definidos en las distintas normas europeas. Estas son:

- EN 10025-2, relativa a aceros laminados en caliente sin aleaciones
- EN 10025-3, relativa a aceros soldables de grano fino
- EN 10025-4, relativa a aceros soldables de grano fino con tratamiento térmico
- EN 10025-5, relativa a aceros con resistencia mejorada frente a la corrosión atmosférica
- EN 10025-6, relativa a productos de alto límite elástico enfriados y templados
- EN 10210-1, relativa a secciones huecas terminadas en caliente de grano fino y sin aleaciones
- EN 10219-1, relativa a secciones huecas de acero estirado en frío.

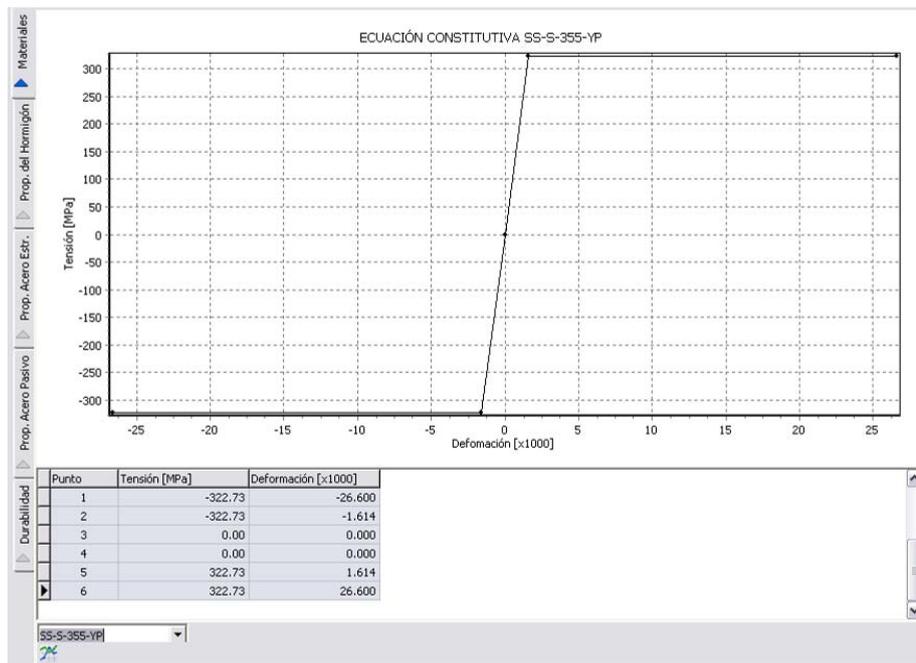
Para cada calidad de acero, el programa indica automáticamente el límite elástico, la tensión de rotura, la deformación correspondiente a la tensión máxima (característica y de cálculo) y el coeficiente parcial de seguridad del acero. Por defecto se adopta para este valor el de γ_o , siendo responsabilidad del usuario modificarlo en su caso (por ejemplo aumentarlo a 1.10 si está diseñando un puente).



La aplicación permite generar un diagrama elasto-plástico o bilineal con rama ascendente.

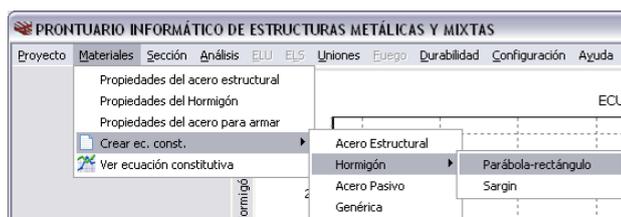
Al pulsar el botón de grabar , aparece una pantalla con una representación de la ecuación constitutiva gráfica y numérica. La ecuación constitutiva se graba con un nombre que corresponde al código $SS-S-f_y-Cod$, donde f_y es el límite elástico, y Cod es un código que adopta el valor **SH** (de **S**train **H**ardening) si se ha elegido un acero con rama ascendente y **YP** (de **Y**ield **P**oint) si la rama plástica es horizontal.

Una vez generada la ecuación constitutiva ésta se puede utilizar en la creación y modificación de secciones.

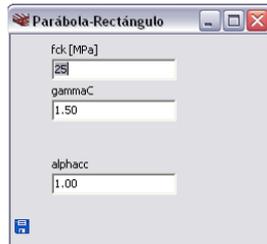


Hormigón Estructural

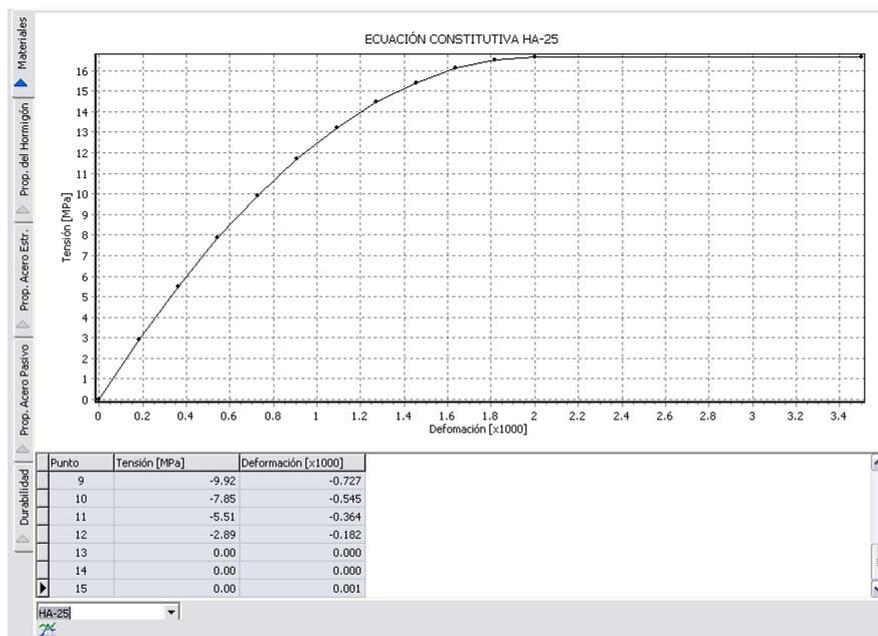
Para el hormigón estructural se sigue una secuencia similar. El programa permite la creación asistida de dos tipos de ecuaciones constitutivas: un diagrama parábola rectángulo (EN 1991-1-1 3.1.7) y una ecuación constitutiva tipo Sargin (EN 1991-1-1 3.1.5), también contempladas en la EHE-o8.



Al pulsar sobre una de estas opciones, se abre un nuevo cuadro de diálogo que depende de la opción escogida. En el caso de la ecuación tipo parábola-rectángulo, el programa solicita la resistencia característica, el coeficiente de minoración del material y el coeficiente de cansancio (α_{cc}). Estos dos últimos datos se leen del archivo de normativa Norma\NDP's_EN.txt y son parámetros nacionales, cuyos valores se proponen como valores por defecto, que, sin embargo, el usuario puede modificar.



Al pulsar sobre el icono de grabación , se muestra en formato gráfico y numérico la ecuación constitutiva generada.



En el caso de elegir una ecuación constitutiva tipo Sargin, aparece una pantalla similar pero que permite introducir una rama de *softening* para tener en cuenta la contribución del hormigón entre fisuras en cálculos en servicio. El modelo de *softening* implementado es muy sencillo y consiste en una rama de tracción que alcanza la resistencia media a tracción y baja linealmente hasta una deformación del 2%. Si el usuario desea refinar este modelo puede hacerlo cargando y modificando esta ecuación mediante la opción de ecuación constitutiva genérica que se describe más adelante. También es posible generar la ecuación constitutiva sin rama de tracción, desmarcando la casilla identificada como TS (Tension Stiffening).

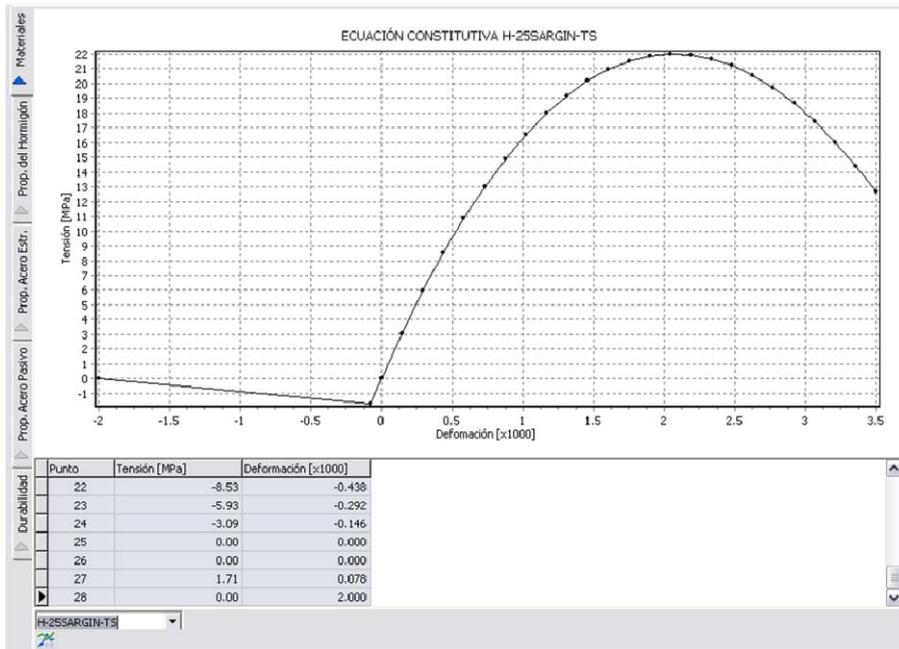
Sargin

fck [MPa]
26

gammaC
1.50

T5

alphacc
1.00



Acero pasivo

La generación de ecuaciones constitutivas para partes de acero pasivo es similar a lo descrito anteriormente para el acero estructural. Dependiendo de la normativa elegida (EN 1992-1-1 o EHE-08) se cargan los materiales estándar definidos en cada documento. En el caso de la EHE-08, la deformación máxima en tracción se limita al 10%, mientras que en el caso del Eurocódigo 2, se admite el uso de la deformación correspondiente a la carga máxima garantizada para un diagrama bilineal y al 90% de dicha deformación en el caso de un diagrama con rama de endurecimiento. No obstante estos parámetros se pueden modificar, por lo que el usuario puede crear una ecuación constitutiva con valores personalizados.

Ecuación constitutiva acero pasivo

Calidad Acero
A

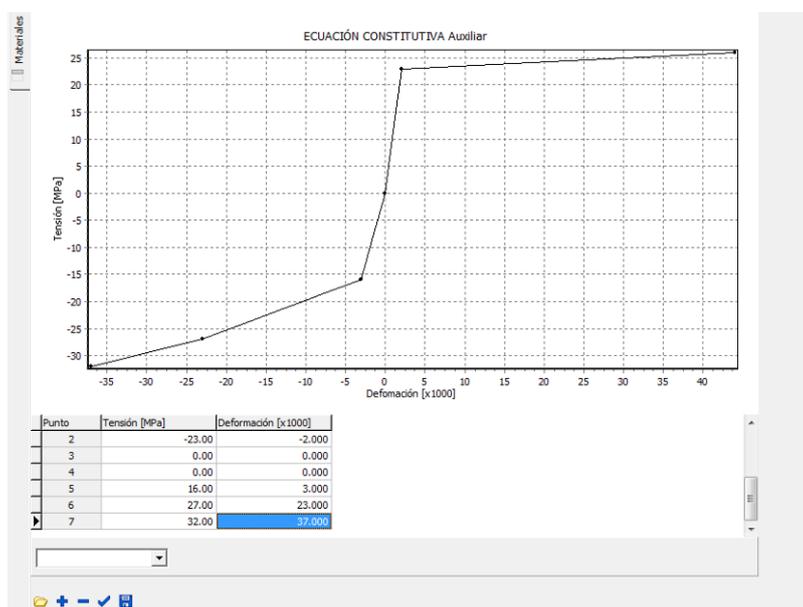
f_{yk} [MPa] k=f_{yk}/f_{yk} eps_ud [%]
400 1.05 2.25

Gamma_s eps_uk [%]
1.15 2.5

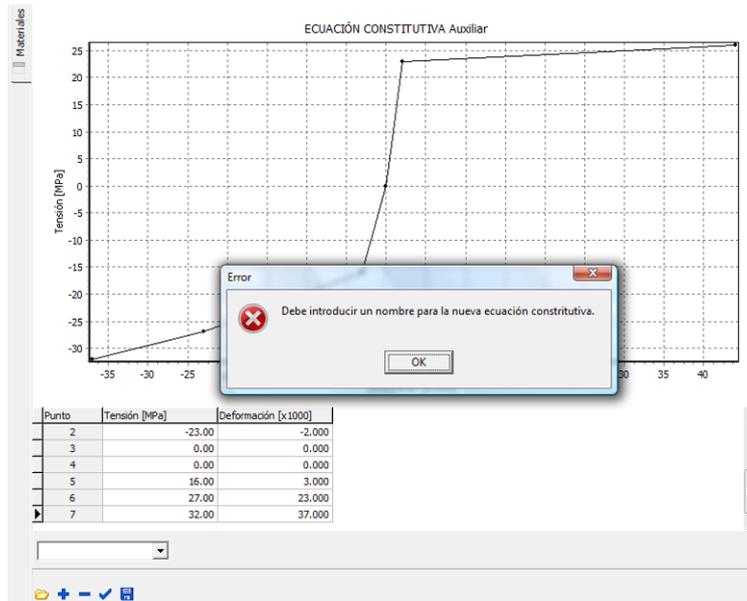
Tipo de Ecuación Constitutiva
 Elasto-plastico
 Bilineal con rama ascendente

Material genérico

Mediante esta opción se puede crear un material genérico definiendo la ecuación constitutiva por puntos. Estos puntos se pueden introducir de forma desordenada puesto que el programa los ordena por la columna de deformaciones. Igualmente, se puede partir de una ecuación constitutiva existente pulsando el icono , por lo que esta opción permite modificar ecuaciones existentes. Se pueden añadir o quitar líneas mediante los iconos  y . Al pulsar sobre el icono , se elimina la línea sobre la que está situado el cursor. Igualmente, se pueden visualizar los datos introducidos en cualquier momento mediante el icono . Al pulsar este botón la ecuación constitutiva se graba con el nombre *Auxiliar.MAT*.



Para grabar la ecuación con su nombre definitivo, una vez comprobado que los datos introducidos son correctos es necesario introducir un nombre en el recuadro situado encima de la barra de herramientas inferior. Si no hay nombre, el programa emite un mensaje de error.



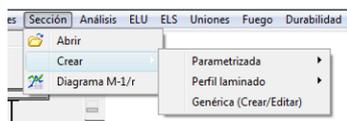
Visualizar una ecuación constitutiva

La última opción del menú de Materiales permite visualizar cualquiera de las ecuaciones constitutivas disponibles para la generación de secciones. La ecuación a visualizar se puede elegir de la lista que se obtiene pulsando sobre la flecha dirigida hacia abajo situada en la parte inferior de la pantalla central y, a continuación pulsando el botón  de la barra de herramientas.



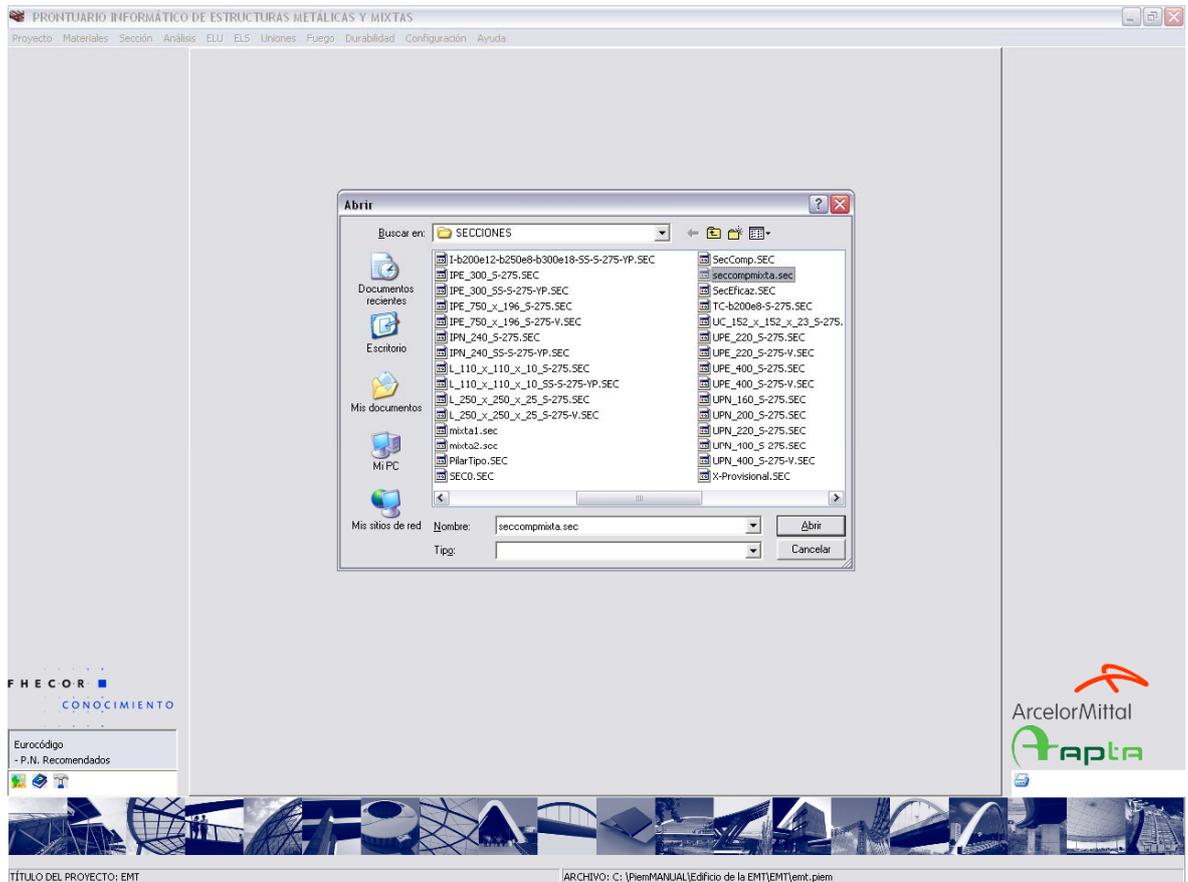
3.2 Secciones

El menú de secciones permite abrir una sección existente con objeto de poder examinar sus propiedades (características mecánicas, materiales, partes que la componen, etc.) y poder trabajar con ella, crear nuevas secciones (parametrizadas o genéricas) o modificar secciones ya creadas.

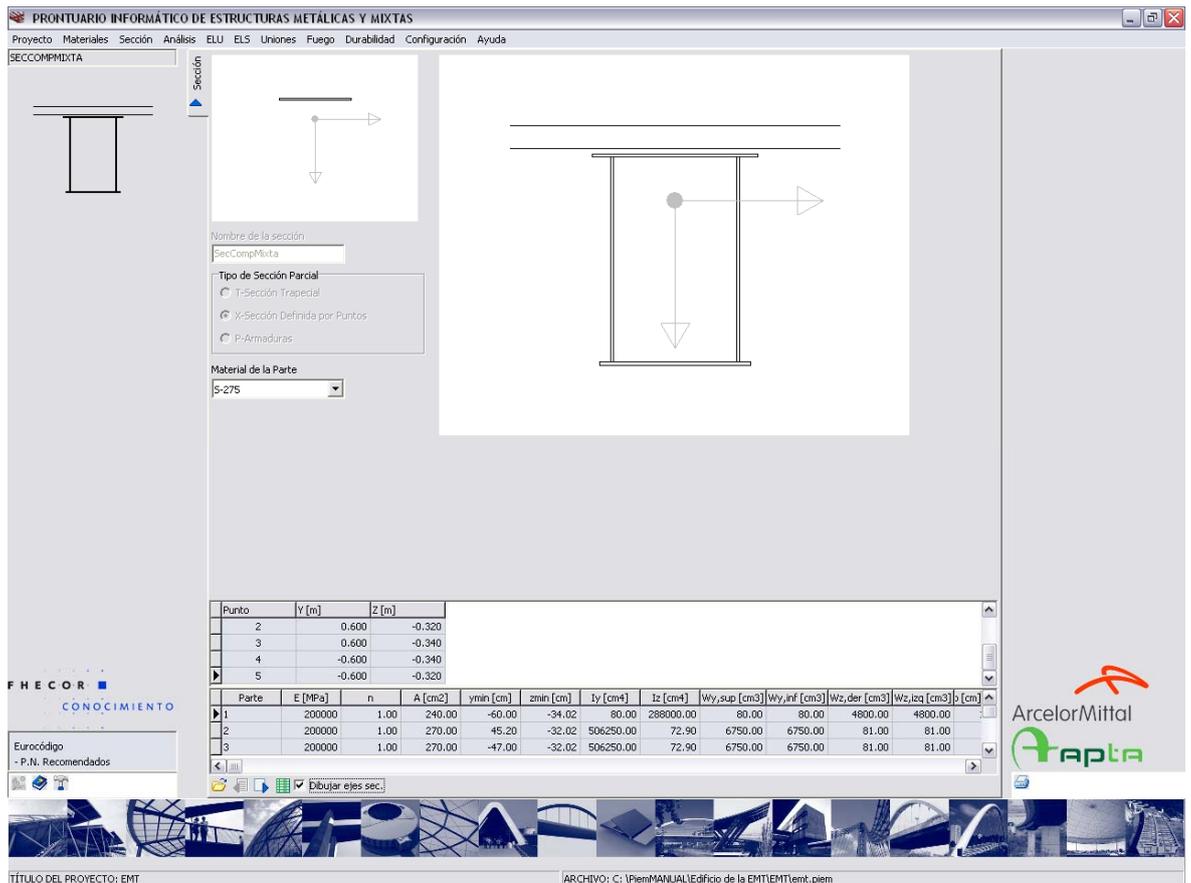


3.2.1 Abrir una sección

Al pulsar sobre la opción abrir del menú de secciones aparece un cuadro de diálogo cuyo directorio por defecto es el directorio de secciones de la obra actual. No obstante, resulta posible abrir secciones definidas en otras obras .PIEM.



Al abrir la sección ésta se carga en memoria. A la izquierda de la pantalla en la esquina superior aparece la sección actual representada mediante su nombre y un dibujo, con objeto de recordar al usuario cuál es la sección que se encuentra activa y sobre la cual se van a efectuar los cálculos correspondientes. Esta información se puede activar y desactivar mediante el icono  de la barra de herramientas situadas en la esquina izquierda inferior de la pantalla.



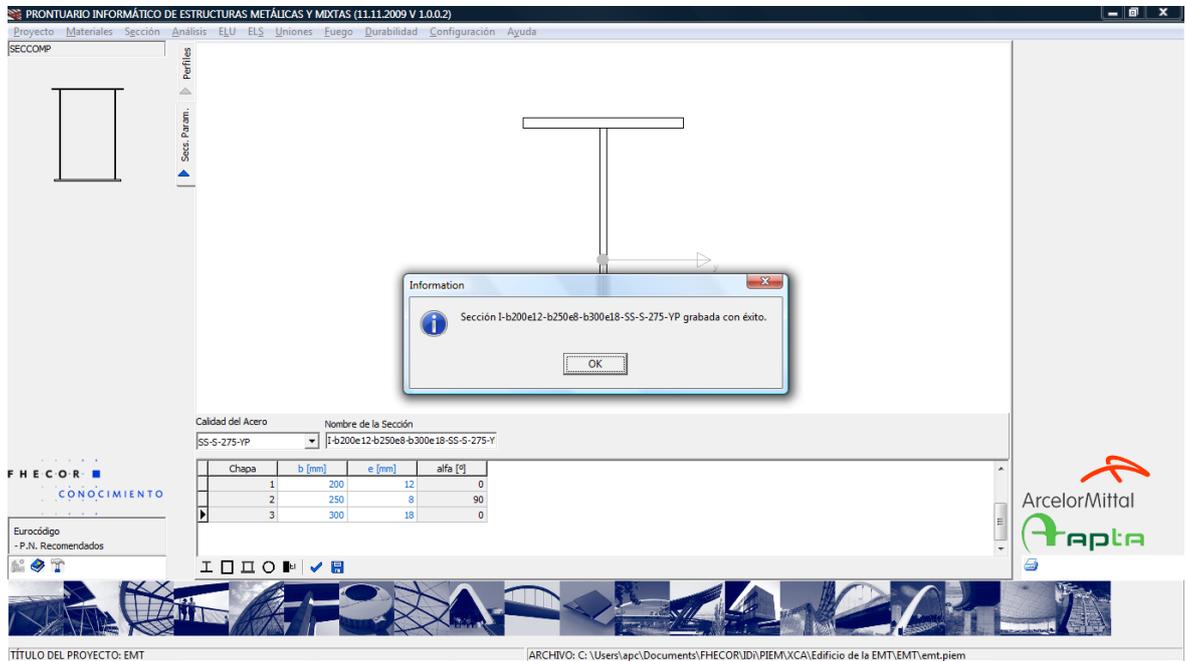
La sección que se representa en la imagen anterior ha sido generada mediante la opción de secciones parametrizadas y modificada para añadir la losa superior y su armadura mediante la opción Crear/Editar del menú de secciones. Como puede verse esta pantalla tiene dos imágenes. La imagen situada en la parte izquierda de la pestaña Sección identifica a la parte de la sección cuya información (material y definición por puntos en este caso) se está mostrando. Igualmente en la tabla inferior se muestra información relativa a las propiedades de dicha parte así como del resto de partes. Esta información incluye, el módulo de deformación de la parte ($E [MPa]$), el coeficiente de homogeneización (n), tomando siempre como material de referencia el de la primera parte definida, el Área ($A [cm^2]$) y la distancia del centro de gravedad de la sección parcial a la esquina superior izquierda de la sección completa ($y_{min} [cm]$ y $z_{min} [cm]$), las Inercias según los ejes y-y (horizontal $I_y [cm^4]$) y z-z (vertical $I_z [cm^4]$), los módulos resistentes superior e inferior según ambos ejes ($W_{y,sup} [cm^3]$, $W_{y,inf} [cm^3]$, $W_{z,der} [cm^3]$, $W_{z,izq} [cm^3]$), el ancho total ($b [cm]$) y altura total de la parte ($h [cm]$). Mediante los iconos y es posible recorrer todas las parte de la sección.

Al final de la tabla inferior se muestran las propiedades de la sección homogeneizada.

3.2.2 Crear secciones parametrizadas

La creación de secciones parametrizadas incluye la generación de secciones armadas en I, secciones tubulares rectangulares (definidas por su ancho su canto, el espesor de las alas y el espesor de las alas), secciones con dos almas y dos alas, teniendo las almas las mismas

dimensiones, pero pudiendo ser diferentes las dimensiones de las alas, y admitiendo un retranqueo entre las alas y almas, secciones tubulares circulares y secciones definidas por su rigidez (EA y EI).

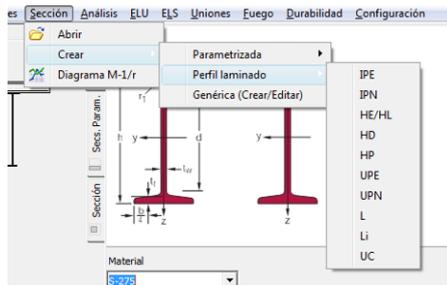


El nombre por defecto de estas secciones parametrizadas es complicado pero las define totalmente. Este nombre, sin embargo puede cambiarse antes de grabar la sección. Para visualizar los cambios efectuados se debe pulsar el botón . Esta acción graba los datos a una sección provisional denominada Auxiliar.SEC pero no supone que la sección esté disponible para el análisis puesto que la sección Auxiliar.SEC será sobrescrita. Cuando los datos de la sección sean correctos, el usuario debe pulsar la opción de grabar la sección , tras lo cual aparecerá un mensaje indicando que la sección ha sido grabada. Esta acción no convierte a esta sección en la sección abierta como lo indica el dibujo de la sección actual situado en la esquina superior izquierda.

En las secciones parametrizadas formadas por chapas se graba en el archivo de la sección la información necesaria para evaluar anchos eficaces y tener en cuenta la posible abolladura de las chapas. Cada chapa se divide en tres zonas, dos voladizos y una zona central (que pueden tener longitud nula), más los espesores de las chapas perpendiculares de apoyo.

3.2.3 Crear perfiles laminados

Se pueden crear secciones correspondientes a perfiles laminados estándar para ser utilizadas en los módulos de Análisis, ELS y ELU. Adicionalmente, este módulo permite visualizar con facilidad las propiedades de catálogo de estos perfiles.



Como se puede ver en la pantalla siguiente al elegir la opción de perfiles laminados y un subtipo determinado (en este caso IPN), se obtiene en la tabla inferior un listado de las características geométricas de los perfiles de dicho subtipo. Al desplazarse por la tabla inferior, en la tabla superior aparecen las propiedades mecánicas del perfil seleccionado. Si se pulsa sobre el botón ⚡, se genera un archivo de sección con el nombre, en este caso, IPN_240_SS-S-275-YP.SEC que identifica perfectamente al perfil y al material.

The screenshot displays the software's main window. On the left, there are navigation tabs for 'Perfiles', 'Análisis', and 'Secc. Param.'. The main area shows a list of IPN profiles with their properties. The selected profile is 'SS-S-275-YP'. Below the list, there are two tables: one for general properties and one for detailed geometric characteristics.

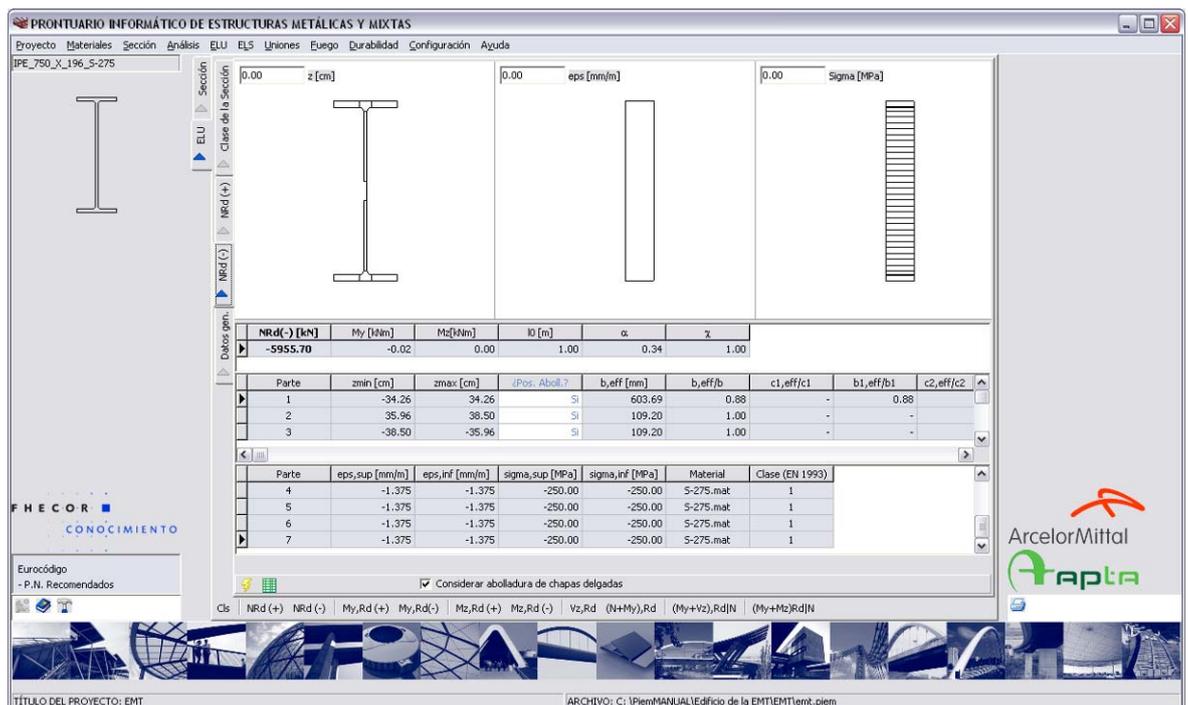
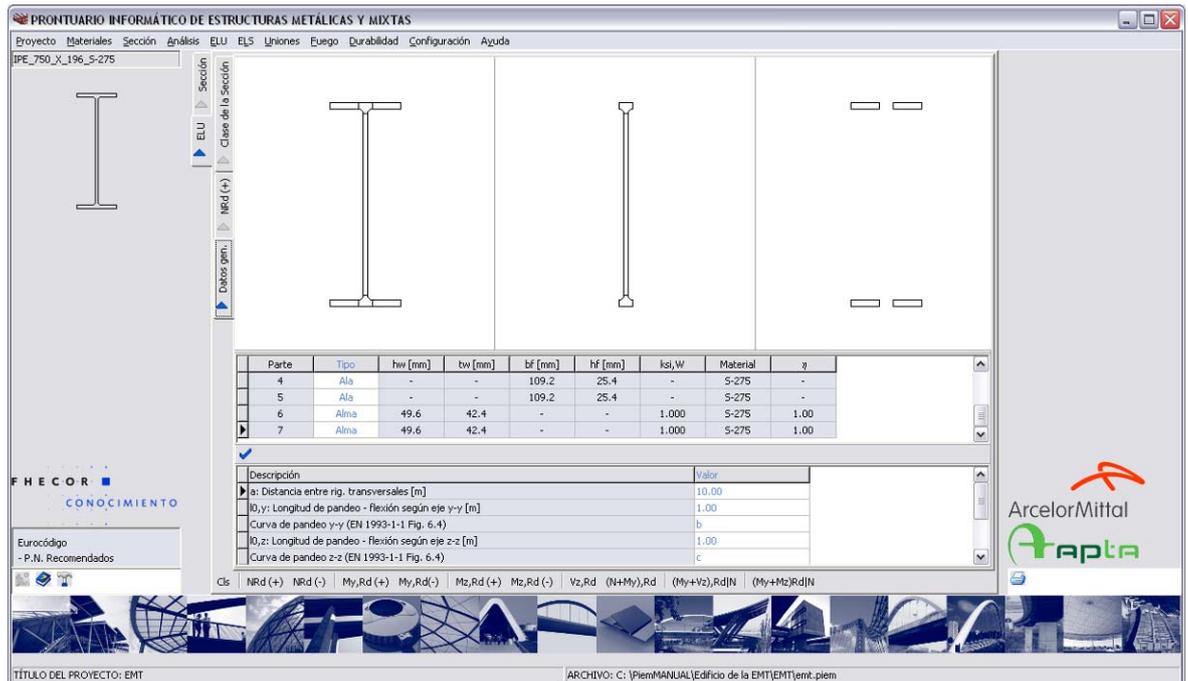
Denominación	A [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _{el,y} [cm ³]	W _{pl,y} [cm ³]	i _y [cm]	Avz [cm ²]	I _z [cm ⁴]	W _{el,z} [cm ³]	W _{pl,z} [cm ³]	i _z [cm]	S _s [mm]	t [cm ⁴]
IPN 240	46.1	4250	354	412	9.59	22.33	221	41.7	70	2.2	48.9	25

Denominación	Peso [kg/m]	h [mm]	b [mm]	t _w [mm]	t _f [mm]	r [mm]	r _z [mm]	d [mm]	φ	p _{max} [mm]	p _{min} [mm]	lnZ _f
IPN 160	17.9	160	74	6.3	9.5	6.3	3.8	125.8	-	0	0	0.
IPN 180	21.9	180	82	6.9	10.4	6.9	4.1	142.4	-	0	0	0.
IPN 200	26.2	200	90	7.5	11.3	7.5	4.5	159.1	-	0	0	0.
IPN 220	31.1	220	98	8.1	12.2	8.1	4.9	175.8	M10	50	56	0.
IPN 240	36.2	240	106	8.7	13.1	8.7	5.2	192.5	M10	54	60	0.
IPN 260	41.9	260	113	9.4	14.1	9.4	5.6	208.9	M12	62	62	0.
IPN 280	47.9	280	119	10.1	15.2	10.1	6.1	225.1	M12	68	68	0.
IPN 300	54.2	300	125	10.8	16.2	10.8	6.5	241.6	M12	70	74	1
IPN 320	61	320	131	11.5	17.3	11.5	6.9	257.9	M12	70	80	1
IPN 340	68	340	137	12.2	18.3	12.2	7.3	274.3	M12	78	86	1
IPN 360	76.1	360	143	13	19.5	13	7.8	290.2	M12	78	92	1

At the bottom of the interface, there is a row of buttons for profile types: IPE, IPN, HE/HL, HD, HP, UPE, UPN, L, Li, UC. The 'IPN' button is highlighted with a lightning bolt icon.

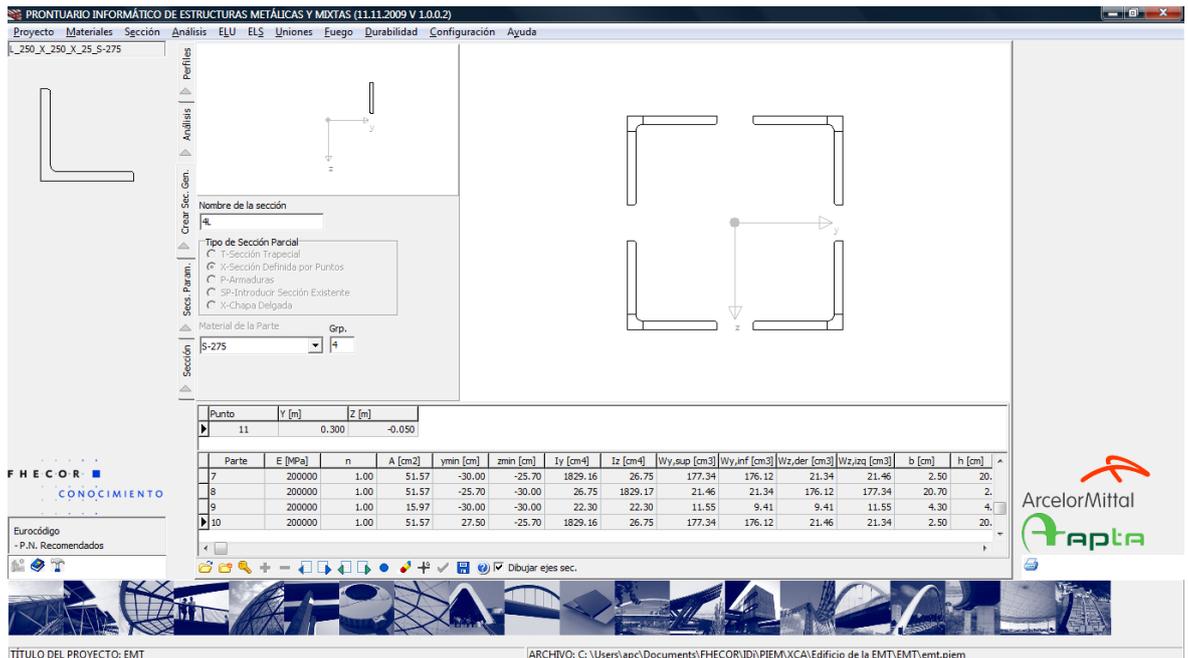
Realmente, debido a la geometría complicada de los perfiles laminados y la necesidad de identificar dimensiones de chapas (a efectos del cálculo de abolladura) y dividir la sección entre almas y alas, el programa genera además un archivo en el posfijo -V que se almacena en el subdirectorio del proyecto *CarpetaProyecto/SECCIONES/AUXILIAR*. Este fichero se carga automáticamente al efectuar cálculos seccionales y la sección -V no intentar abrirse directamente.

En las pantallas siguientes se muestra un ejemplo de cálculo de un perfil laminado, donde se aprecia la división que efectúa el programa del perfil laminado seleccionado y que, en este caso, no se trata de un perfil compacto en compresión.



3.2.4 Crear/Editar Sección Genérica

Esta opción permite crear secciones con total generalidad, combinando secciones previamente definidas (que se pueden girar, trasladar y reflejar) o introduciendo secciones nuevas que se pueden estar definidas por trapecios, por coordenadas o formadas por barras de armadura pasiva. En el ejemplo de la figura se muestra un pilar formado por cuatro perfiles en L. Esta sección se ha generado a partir del perfil laminado, generado por la opción descrita en 3.2.1, insertando el perfil cuatro veces y girando y trasladando 3 de ellos, mediante la opción .



La información que se proporciona en esta pantalla es la misma que la expuesta al abrir una sección. Sin embargo en este caso aparece una barra de herramientas con un mayor número de opciones:

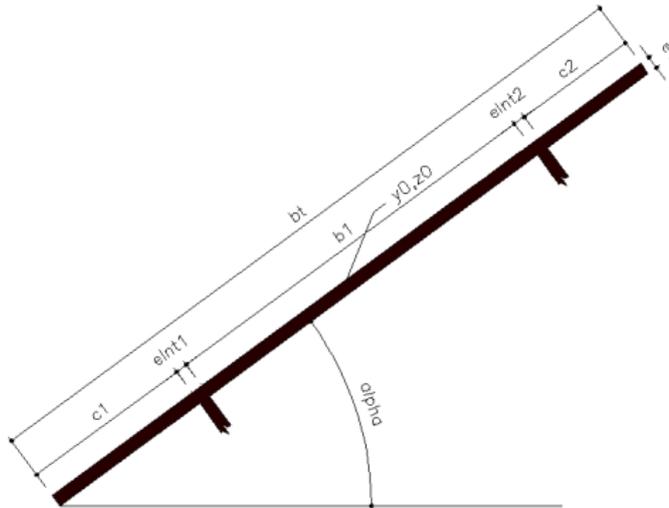
La opción abrir permite partir de una sección existente y modificar la información de ésta o combinarla con otras secciones existentes o creadas mediante las opciones de esta pantalla.

Para crear una nueva parte hay que pulsar el icono . Al pulsar sobre esta opción el comportamiento del programa dependerá de cuál es la opción elegida para el tipo de de sección parcial. Si se trata de una sección definida por trapecios o por coordenadas se activarán los iconos y que permiten añadir o eliminar filas de la tabla situada por encima de la tabla de propiedades de la sección, y en la cual se definen los datos de la nueva sección.

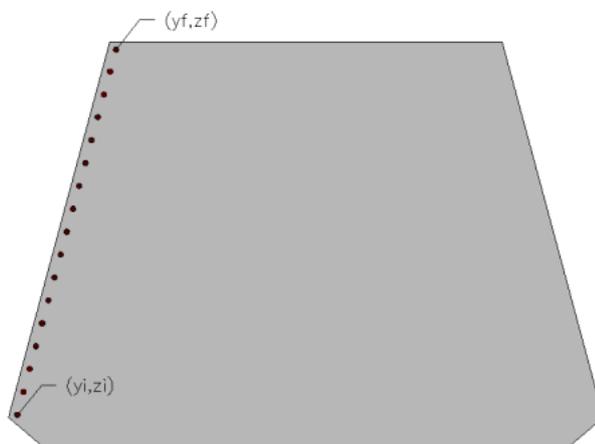
Si la opción seleccionada corresponde a una chapa delgada, aparecerá en dicha tabla una única fila con los datos correspondientes una chapa delgada. Estos datos se sintetizan en la figura siguiente a la que se puede acceder desde el programa pulsando el icono .

Como se puede ver los datos que solicita el programa son el ancho total de la chapa (b_t), su espesor (e), la luz de los voladizos izquierdo (c_1) y derecho (c_2), la luz del tramo central que se supone apoyado en ambos extremos (b_c), el espesor de la chapa de apoyo que separa el voladizo izquierdo del tramo central (e_{Int1}), las coordenadas del punto medio superior de la chapa y la inclinación de la misma (α), positivo en sentido anti-horario. Por diferencia el

programa calcula el espesor de la chapa de apoyo 2 (e_{Int2}), cuyo valor debe permitir al usuario comprobar si los datos han sido introducidos correctamente.



Si la opción seleccionada corresponde a una sección parcial formada por armadura en la tabla de datos aparecen dos filas en las que deben introducirse las coordenadas (Y, Z) de la primera barra (Pto. inicial) y de la barra final (Pto. final). Adicionalmente deben introducirse en los campos situados directamente encima de esta tabla los valores del diámetro de las barras (f_i [mm]) y el número de barras. En la figura siguiente se reproduce la imagen que aparece al pulsar sobre el botón de ayuda  cuando el tipo de sección seleccionado es P-Armaduras.



Si la opción seleccionada corresponde a la introducción de una sección existente se abrirá un diálogo de Windows que permitirá elegir la sección que se quiere añadir como parte nueva.

Si se desea modificar una parte de la sección, ésta debe seleccionarse mediante los iconos  y  hasta que ésta aparezca en la imagen situada en la esquina superior izquierda de la pestaña *Crear Sec. Gen* y a continuación se debe pulsar sobre el botón de desbloquear . Al efectuar esta operación cambian los colores de la tabla de definición de la parte y estos datos, así como los datos relativos al material se pueden modificar.

La opción  permite borrar la parte actual de la sección y la opción  referir los ejes de la sección al centro de gravedad de la misma.

Una vez finalizadas las manipulaciones de la sección, ésta se puede grabar, tras actualizar, en su caso, el nombre de la sección, mediante el icono .

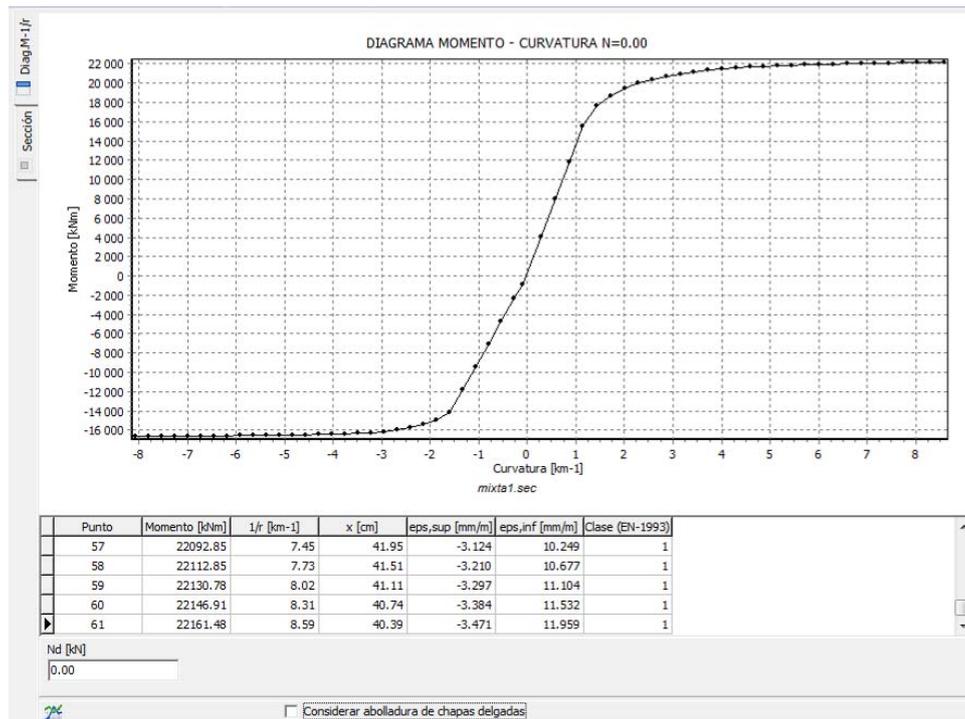
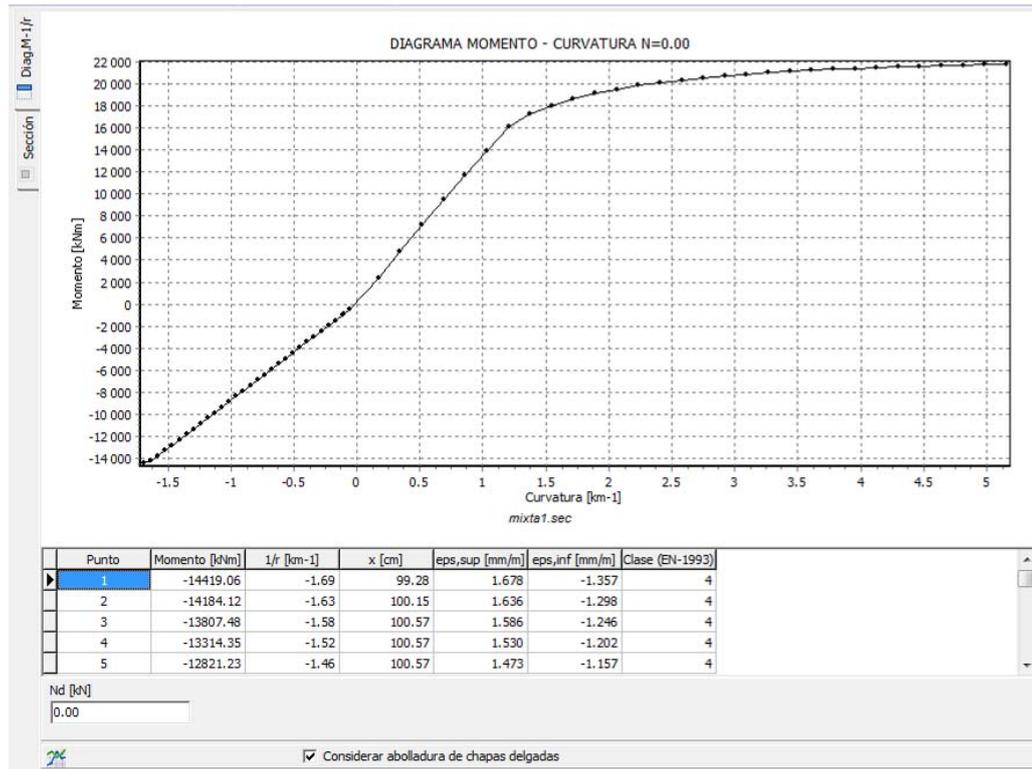
La creación de una sección genérica o la modificación de una sección existente no convierten a esta en la sección seleccionada para el análisis como muestra el dibujo de la sección actual en la esquina superior izquierda de la pantalla.

3.2.5 Diagrama momento curvatura

Esta opción permite calcular el diagrama momento-curvatura de la sección seleccionada para distintos valores del axil. Este cálculo se puede efectuar teniendo en cuenta, o no, la posible abolladura de las chapas e incluye el comportamiento frente a momentos positivos y negativos. Para actualizar el diagrama y la tabla correspondiente tras modificar el valor del axil, se utiliza el icono .

La tabla incluye, para cada punto del diagrama la siguiente información: momento (*Momento* [kNm]), curvatura ($1/r$ [km⁻¹]), profundidad de la fibra neutra (x [cm], medida desde la cara superior de la sección), deformación de la fibra superior de la sección (ε_{sup} [mm/m]), deformación de la fibra inferior de la sección (ε_{inf} [mm/m]) y clase de la sección para el plano de deformación considerado de acuerdo con los criterios del Eurocódigo 3 (*Clase EN-1993*).

En las dos figuras siguientes se muestra el diagrama momento-curvatura de una sección mixta teniendo en cuenta la abolladura de las chapas y sin tenerla en cuenta. Se puede observar cómo aumenta la ductilidad al cambiar la clase de la sección de 4 a 1, particularmente frente a momentos negativos.



El número de puntos utilizados para el cálculo del diagrama momento-curvatura puede modificarse mediante la opción de configuración (ver 2.2). Por defecto se utilizan 60 puntos en total (momentos positivos y negativos).

3.3 Análisis

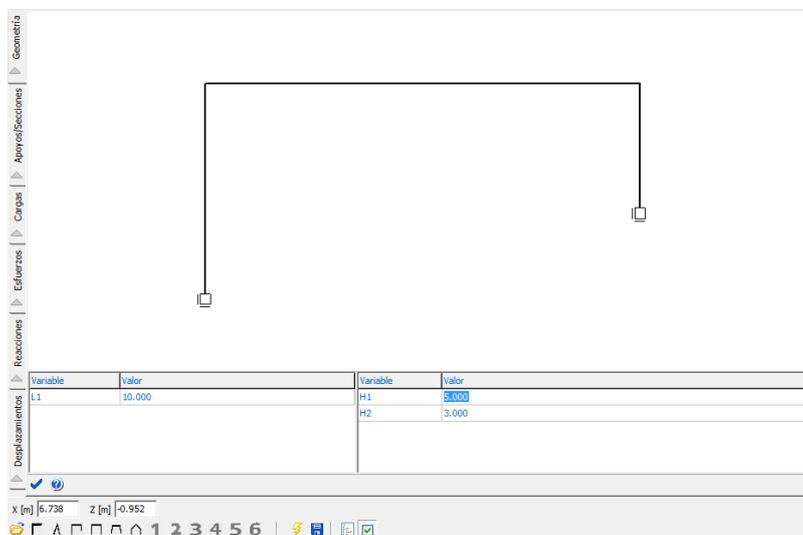
El módulo de análisis permite determinar esfuerzos, desplazamientos y reacciones en una serie de pórticos tipo así como en vigas continuas de un número de vanos comprendido entre 1 y 6. La selección de pórticos está inspirada en el Prontuario de Ensidesa [13], generalizando, respecto de las propuestas de esta referencia, las condiciones de apoyo y las posibilidades de carga.

El módulo de análisis presenta 6 pestañas, tres para introducir datos y tres para visualizar resultados. Las pestañas de datos son relativas a geometría, definición de apoyos y secciones e introducción de cargas.

Al pulsar uno de los iconos de la barra de herramientas inferior  se carga una estructura del tipo seleccionado con unas dimensiones y propiedades por defecto. Mediante las pestañas de datos todas estas características se pueden modificar.

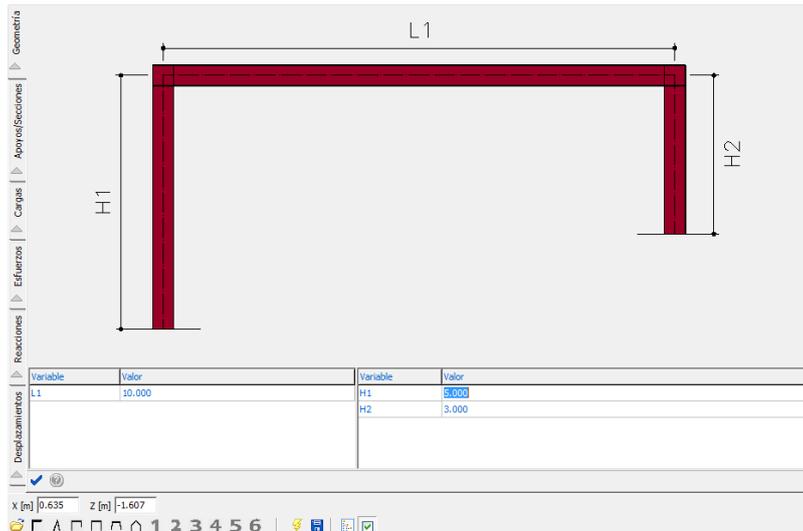
3.3.1 Geometría de la estructura

En la pestaña de geometría se pueden modificar las dimensiones del pórtico o viga continua. Los gráficos y tablas de datos se actualizan al pulsar sobre el icono . Mediante el icono de ayuda  se puede consultar la definición de las variables L_i y H_i que determinan las dimensiones de la estructura.



Variable	Valor	Variable	Valor
L1	10.000	H1	5.000
		H2	3.000

X [m] 6.738 z [m] -0.952



La discretización del modelo se puede regular definiendo la longitud máxima de las barras en el menú de configuración 🛠️ (ver 2.2). Sin embargo, la discretización se debe modificar en caso de que sea necesario antes de generar el modelo. Los cambios que se hagan en este parámetro no afectan a estructuras ya grabadas o en memoria en el momento de efectuar el cambio.

3.3.1 Apoyos y definición de las secciones

En la pestaña Apoyos/secciones se define la sección de cada grupo de barras así como la posición de los apoyos y el valor de las coacciones. Para los pórticos, el Prontuario considera como un grupo de barras un conjunto de barras alineadas. Sin embargo en el caso de vigas continuas se considera cada vano como un grupo independiente. Cada grupo de barras tiene la misma sección. Esta pantalla permite por lo tanto, en el caso del pórtico utilizado como ejemplo para ilustrar la pestaña de geometría, definir secciones diferentes para cada pilar y otra más para el dintel. Esto se consigue seleccionando una de las secciones disponibles en la tabla superior y en la columna titulada *Sección*. Al pinchar sobre una celda de esta columna se abre un menú desplegable con las secciones disponibles. En la columna situada a la derecha de ésta se muestra la rigidez a flexión de la sección seleccionada. No obstante, esta rigidez sólo se actualiza al pulsar sobre el icono ✓.

Adicionalmente se pueden modificar las condiciones de apoyo que vienen dadas por defecto e introducir apoyos nuevos.

The screenshot shows a software interface for structural analysis. On the left, there is a vertical menu with options: Analisis, Geometría, Apoyos/Secciones, Cargas, Esfuerzos, Reacciones, and Desplazamientos. The main window displays a 2D frame structure with a horizontal top member and two vertical members. A support symbol is visible at the bottom right corner of the frame. Below the main window, there are two tables. The first table lists bar groups with their starting coordinates, sections, and stiffness values. The second table lists support conditions for two nodes, including their coordinates and the type of support (e.g., free, fixed, or flexible).

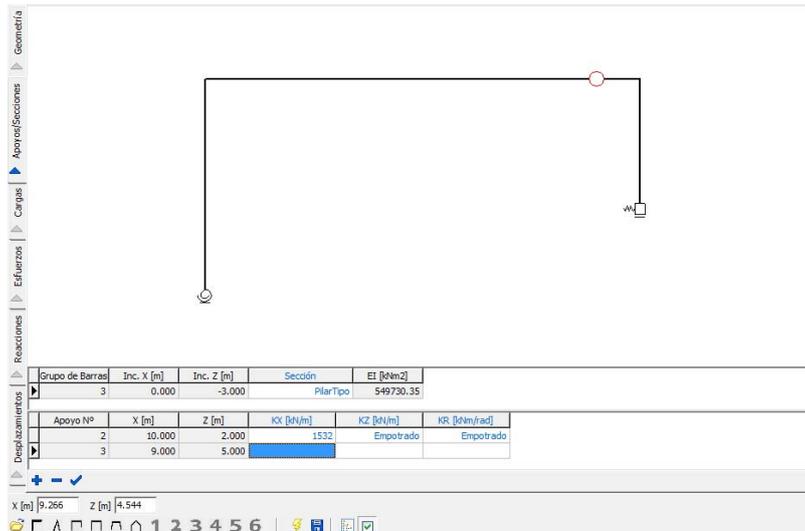
Grupo de Barras	Inc. X [m]	Inc. Z [m]	Sección	EI [kNm ²]
2	5.000	0.000	IPE_300_S-275	16740.79
3	0.000	-2.000	HE_200_B_S-275	11406.39

Apoyo N°	X [m]	Z [m]	KX [kN/m]	KZ [kN/m]	KR [kNm/rad]
1	0.000	0.000	Libre	Empotrado	K 10000 [kN,m]
2	5.000	1.000	15632	Empotrado	Empotrado

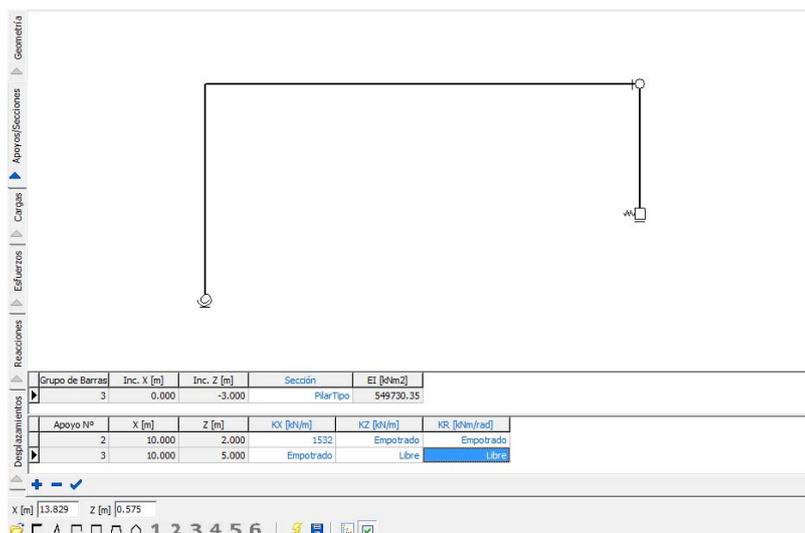
At the bottom of the interface, there are navigation icons and a status bar showing coordinates: X [m] 2.714 and Z [m] -0.584.

Al modificar los apoyos y pulsar el botón de actualización , se redibuja el gráfico de la estructura representando las condiciones de apoyo elegidas mediante el símbolo adecuado (barras verticales para desplazamiento horizontal impedido, barras horizontales para desplazamiento vertical impedido, cuadrado para empotramiento al giro, círculo para indicar una articulación frente al giro y muelles para indicar empotramientos flexibles).

Para introducir un apoyo nuevo se debe pulsar sobre el icono . Tras esta acción se genera una línea nueva en la tabla inferior y aparece un círculo rojo que va recorriendo los nudos de la discretización para indicar la posición en la que se quiere colocar el nuevo apoyo. También se modifica el cursor para indicar que el programa está esperando que el usuario le indique la posición del nuevo apoyo pulsando el botón derecho del ratón.



Al pulsar sobre el botón de la derecha del ratón se crea el apoyo correspondiente, que por defecto se supone empotrado en ambas direcciones y frente al giro. Estos valores se pueden modificar igual que anteriormente.

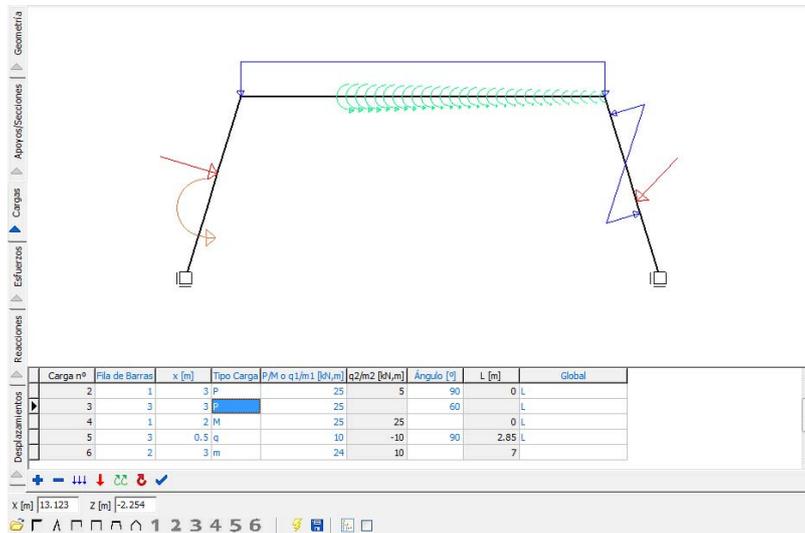


3.3.2 Cargas

El Prontuario permite definir cargas con bastante generalidad. Existen cuatro tipos de cargas básicas: cargas distribuidas (q ↓↓), cargas puntuales (P ↓), momentos distribuidos (m ↻) y momentos puntuales (M ↻). Las cargas distribuidas y puntales pueden tener inclinación y se pueden introducir según ejes locales o globales. Por otra parte, tanto las cargas como los momentos distribuidos pueden variar linealmente entre un valor inicial q_1/m_1 , y un valor final q_2/m_2 .

Para facilitar el posicionamiento de las cargas éstas se introducen por filas de barras (solamente a estos efectos se considera que las vigas continuas están constituidas por una única fila de barras). Cada tipo de carga se puede introducir directamente o haciendo uso de

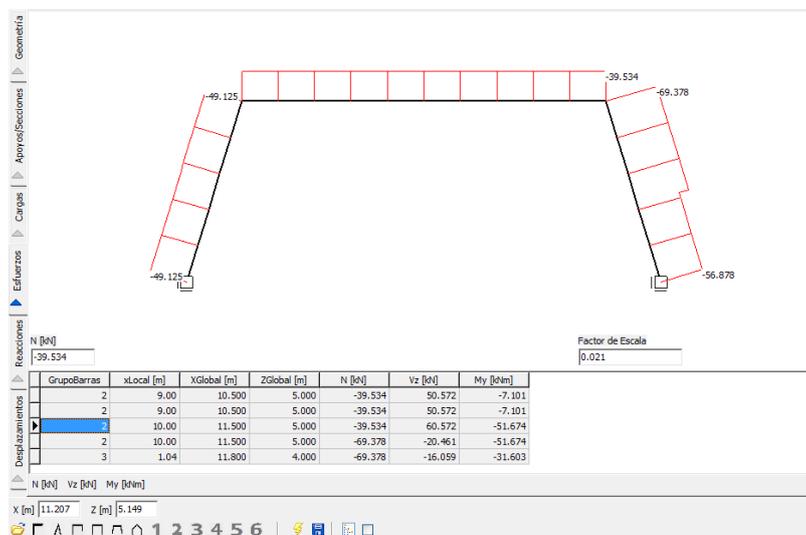
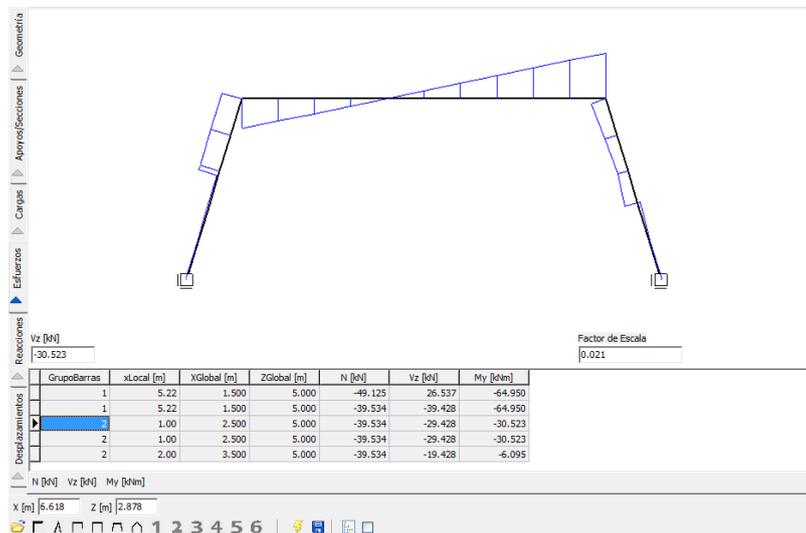
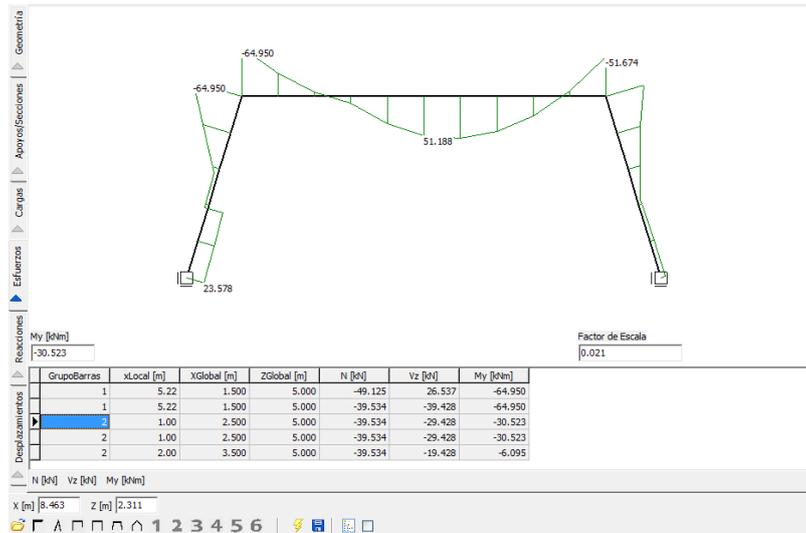
los botones de la barra de herramientas que facilitan la tarea. En la figura siguiente se muestra un ejemplo que muestra las posibilidades de carga que tiene el módulo de análisis.



Para facilitar el uso, las columnas cambian de formato en función del tipo de carga seleccionado, apareciendo con fondo gris los datos que no son relevantes para el tipo de carga seleccionado (por ejemplo, la longitud de la carga para cargas puntuales). Por otra parte, para las cargas distribuidas que llegan hasta el final de un grupo de barras determinado, se puede introducir, como longitud, un número muy grande y el programa determina automáticamente la longitud máxima que puede tener la carga sin salirse de la estructura.

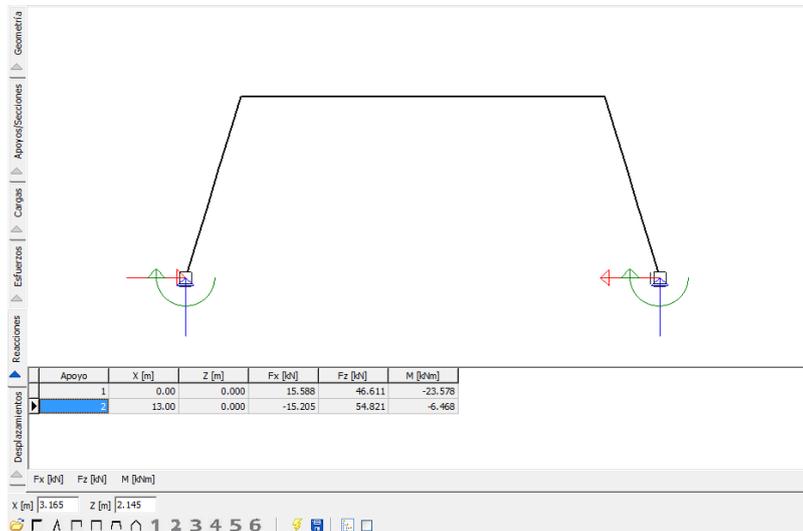
3.3.3 Esfuerzos

Para calcular la estructura hay que pulsar sobre el icono . En la pestaña *Esfuerzos*, se pueden visualizar gráfica y numéricamente los esfuerzos axiales, de cortante y de flexión N [kN] Vz [kN] My [kNm]. El tamaño de las leyes de esfuerzo se puede controlar mediante el factor de escala situado en la esquina inferior derecha del gráfico, aunque, generalmente, la escala por defecto que utiliza el programa es adecuada. Igualmente, en el recuadro de la esquina inferior izquierda se proporciona el valor del momento en el nudo más próximo a la posición del ratón. Pulsando sobre el botón de la derecha del ratón se representan estos valores sobre la ley de momentos.

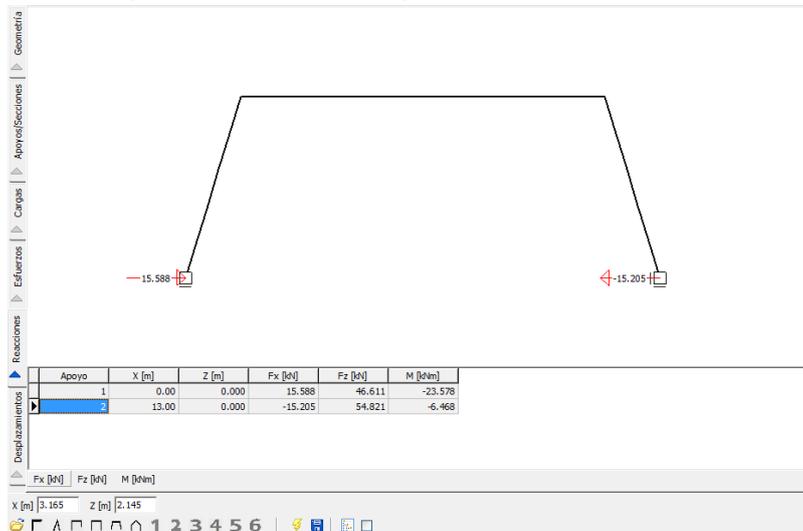


3.3.4 Reacciones

En la pestaña *Reacciones*, se representan gráficamente y numéricamente el valor de las reacciones.

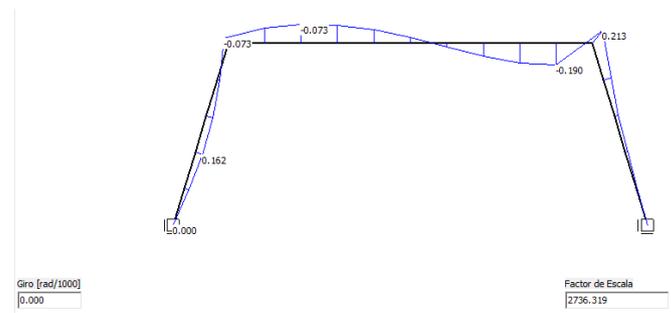
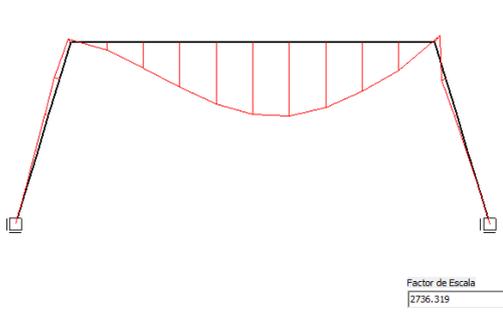
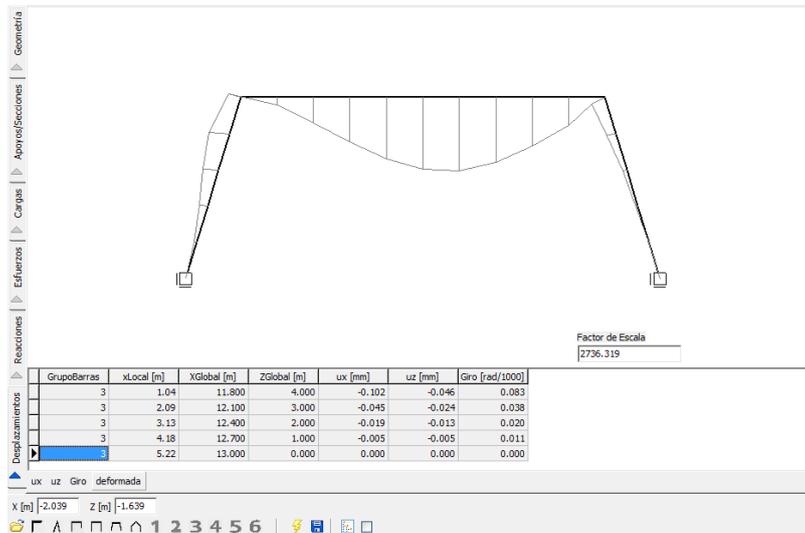


Pulsando sobre las opciones de la barra de herramientas situada por debajo de la tabla *Fx [kN] Fz [kN] M [kNm]* se pueden obtener valores de las reacciones en una de las direcciones con sus valores representados sobre el gráfico.



3.3.5 Desplazamientos

El módulo de Análisis permite obtener los desplazamientos de la estructura. Estos valores se pueden obtener en términos de deformada, en cuyo caso se representa gráficamente el vector de desplazamiento de los nudos, o bien en términos de desplazamiento en x, en z o en términos de giro *ux uz Giro deformada*. En estas últimas opciones, se pueden representar los valores numéricos sobre la representación gráfica. Esta pestaña funciona en estos casos igual que la de esfuerzos.



3.3.1 Resultados

Mediante el icono  se pueden mandar los resultados del análisis al informe del proyecto. El comportamiento de este icono depende del estado de icono adyacente que puede estar activado, , en cuyo caso se incluyen en el informe todos los datos y resultados correspondientes a la estructura actual o desactivado, , en cuyo caso sólo se incluye en el informe los datos de la pestaña actual. En la figura siguiente se muestra el árbol que genera la primera opción en la ventana del informe.



3.4 Estados Límite Últimos

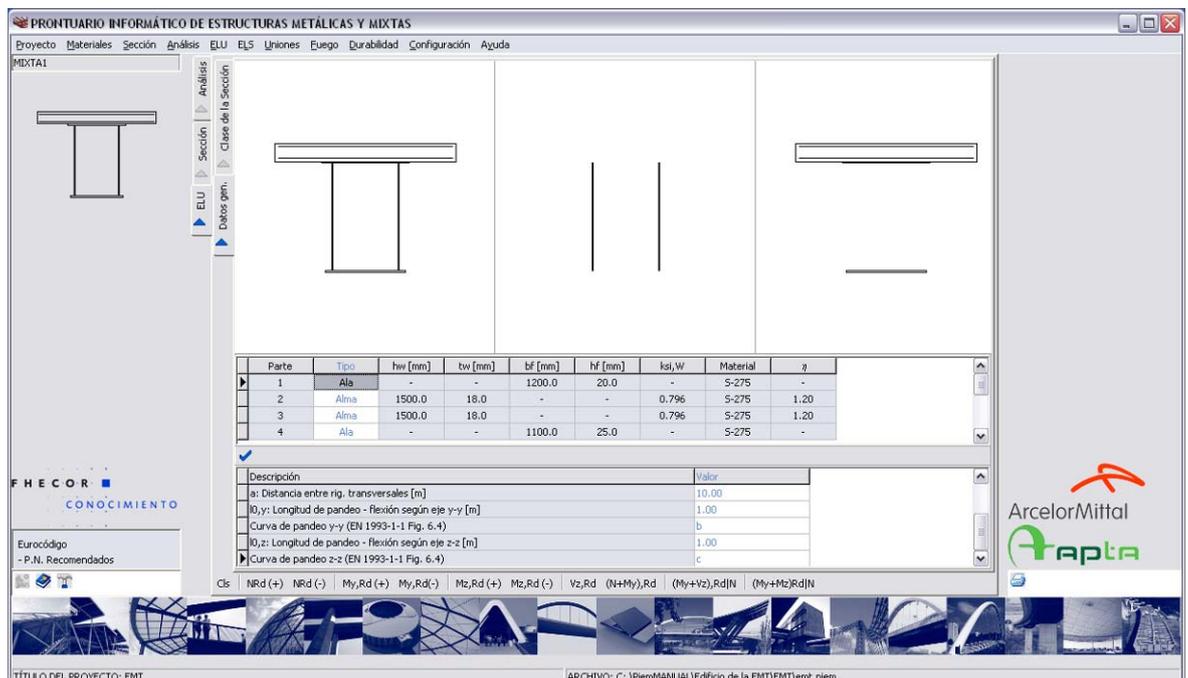
La opción de Estados Límite Últimos permite determinar la clase de una sección, calcular el máximo axil de tracción y de compresión que puede resistir, calcular los momentos últimos máximos positivos y negativos según los ejes horizontales (y-y) y verticales (z-z) y calcular el cortante último de la sección, teniendo en cuenta el momento y el axil concomitante.

Adicionalmente se incluyen diagramas de interacción Flexión-Cortante, para un axil dado, diagramas de interacción axil-momento (para los ejes y-y y z-z) y diagramas de interacción en flexión esviada para una axil fijo.

Para utilizar este módulo es necesario haber abierto previamente una sección. En caso contrario, el menú de ELU permanece desactivado.

3.4.1 Datos generales

Existen algunos datos comunes a las distintas opciones del módulo ELU. Por ello, al pinchar sobre el menú principal en esta opción, aparece una pantalla de datos generales. En esta pantalla, el programa presenta, en primer lugar una propuesta de división de la sección en alas y almas, que resulta fundamental para todo lo relativo al cálculo de la resistencia frente a cortante. Esta división puede ser modificada por el usuario de tal forma que se proporciona por un lado asistencia en la definición y por otro lado flexibilidad para cambiar la propuesta hecha por el programa que puede no ser adecuada para algún caso específico.



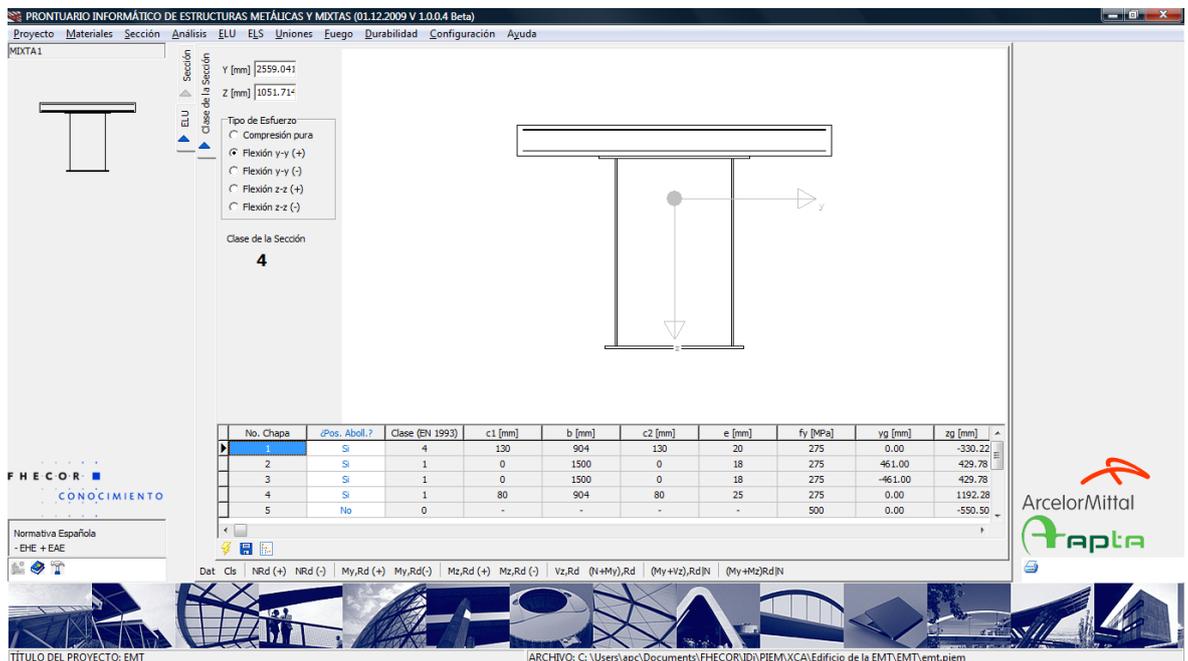
Los otros datos que se definen en esta pantalla son la distancia entre rigidizadores (que interviene a la hora de calcular los anchos eficaces de los paneles y la capacidad post-crítica a cortante), la longitud de pandeo en las direcciones y y z, y las curvas de pandeo correspondientes en cada dirección (identificadas mediante una letra minúscula según se

define en la figura 6.4 de EN-1993-1-1). Los valores que propone por defecto el programa están generalmente del lado de la seguridad para la distancia entre rigidizadores transversales ($a=10.00$ m). Para la longitud de pandeo, sin embargo, se adopta un valor igual a 1.00 metro, de tal forma que, por defecto el coeficiente de pandeo χ es igual a 1.00 o próximo a dicho valor. El usuario debe adaptar estos valores a su caso concreto. Este aspecto se recuerda en las pantallas de resultados de la resistencia de las secciones donde se indican los valores adoptados para estos datos.

3.4.2 Determinación de la clase de la sección

La clase de la sección se calcula para esfuerzos de compresión pura, flexión de eje y-y positiva y negativa y flexión de eje z-z, también positiva y negativa. En esta pantalla, como en las demás, es posible indicar al programa que una determinada chapa no abolla. Este caso se da, por ejemplo, en chapas conectadas al hormigón en estructuras mixtas.

En la figura siguiente, se muestra la pantalla de determinación de la clase de la sección. En el ejemplo mostrado la sección trabajando frente a momento positivo es de clase 4 debido a la esbeltez de la chapa superior que abolla antes de alcanzar su capacidad en compresión. Al tratarse de una estructura mixta con losa superior conectada a la chapa esta situación no es razonable.



Por ello se permite establecer para cada chapa si ésta puede o no abollar. Modificando este dato para la chapa 1 obtiene un valor de 1 para la clase de esta sección en momentos positivos.

Esta pantalla, además de identificar la clase de cada una de las chapas que forman la sección muestra los datos pertinentes a cálculo de la abolladura de las mismas. De esta forma cada

chapa se divide en cinco zonas: dos voladizos, de luces c_1 y c_2 , y una zona central biapoyada de luz b , y los espesores de las zonas de apoyo. Esta definición se corresponde con la expuesta más arriba en la explicación relativa a la creación de secciones parciales de tipo X-Chapa Delgada en la creación de secciones genéricas. La clase de la chapa se obtiene como el valor máximo entre la clase de los voladizos y la clase de la zona central. Además se indica en la tabla el espesor de la chapa, el límite elástico de su acero y las coordenadas de su centro de gravedad, con objeto de facilitar su identificación gráfica. Para ayudar en este sentido se incluyen en la esquina superior izquierda de la pestaña, las coordenadas del ratón que se van actualizando con el desplazamiento del mismo sobre la figura.

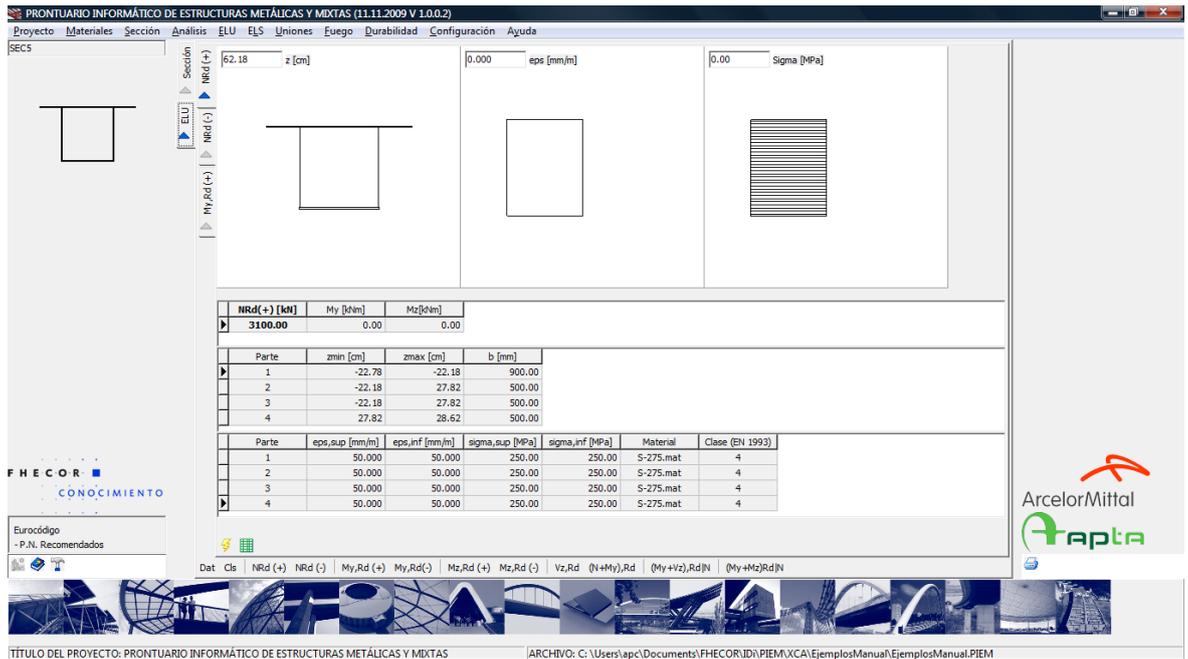
The screenshot shows the 'SECCIÓN' (SECTION) window of the software. It displays a cross-section of a steel beam with a top flange and a central web. The following table lists the properties of the plates used in the section:

No. Chapa	dPos. Aboll.?	Clase (EN 1993)	c1 [mm]	b [mm]	c2 [mm]	e [mm]	fy [MPa]	yg [mm]	zg [mm]
1	No	1	130	904	130	20	275	0.00	-330.22
2	Si	1	0	1500	0	18	275	461.00	429.78
3	Si	1	0	1500	0	18	275	-461.00	429.78
4	Si	1	80	904	80	25	275	0.00	1192.28
5	No	0	-	-	-	-	500	0.00	-550.50

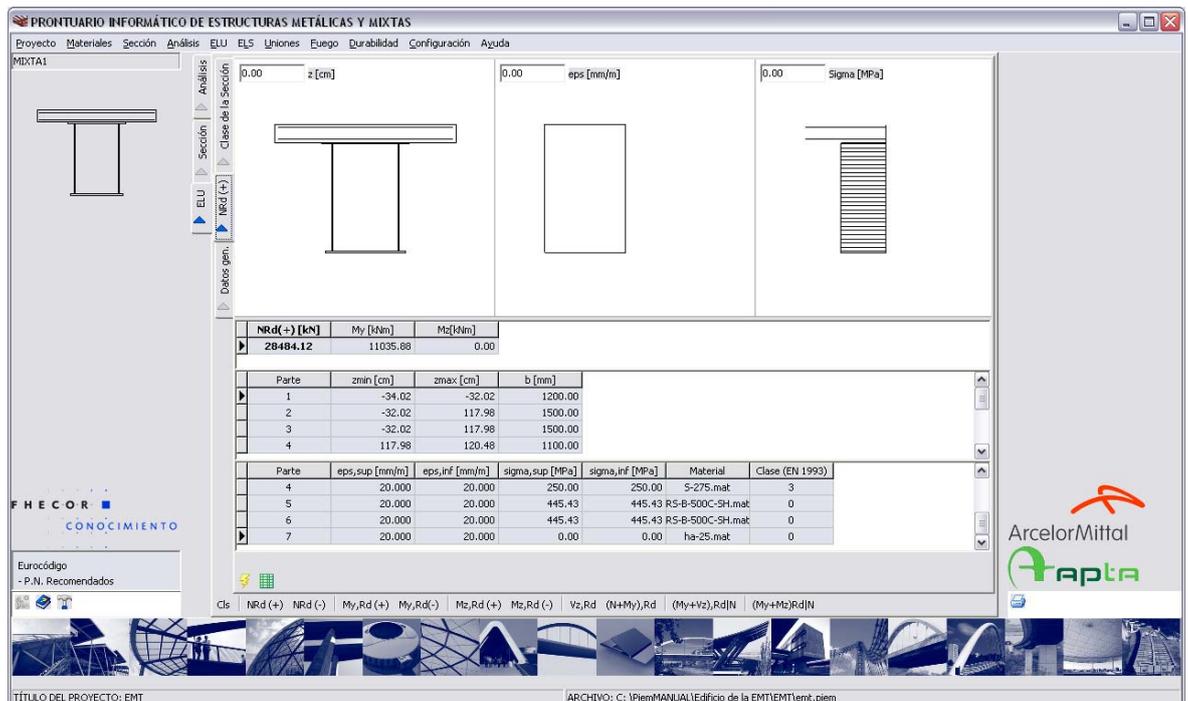
Adicionalmente (a partir de la V 1.0.0.5), esta pantalla se utiliza para definir el carácter compacto o no de las chapas que forman la sección a efectos del cálculo del diagrama Momento-curvatura, y de los diagramas de interacción para en cuyas pantallas no existe una gestión particularizada de la abolladura chapa por chapa. Para ello, basta con modificar la segunda columna de la tabla inferior y grabar los cambios mediante el icono .

3.4.3 Máximo axil de tracción

La opción ELU del menú principal permite el cálculo del máximo axil de tracción. Para ilustrar este cálculo así como el resto de los cálculos con chapas delgadas se utilizará un ejemplo extremo correspondiente a una sección cajón asimétrica (según un eje horizontal) con chapas muy esbeltas, con la idea de que se pueden visualizar bien los anchos eficaces.



Esta pantalla recoge el valor del axil último que se presenta en negrita en la primera tabla. Este valor se acompaña de posibles valores concomitantes de momentos flectores M_y y M_z porque estos valores pueden no ser nulos. Como ejemplo de ello, se muestra el caso de una sección mixta trabajando en tracción en la cual aparece un momento M_y importante, concomitante con el axil máximo de tracción debido a la fisuración de la losa que crea una excentricidad importante entre el centro de gravedad de la sección homogeneizada (a que se suponen referidos siempre los momentos) y en centro de gravedad de las tracciones.

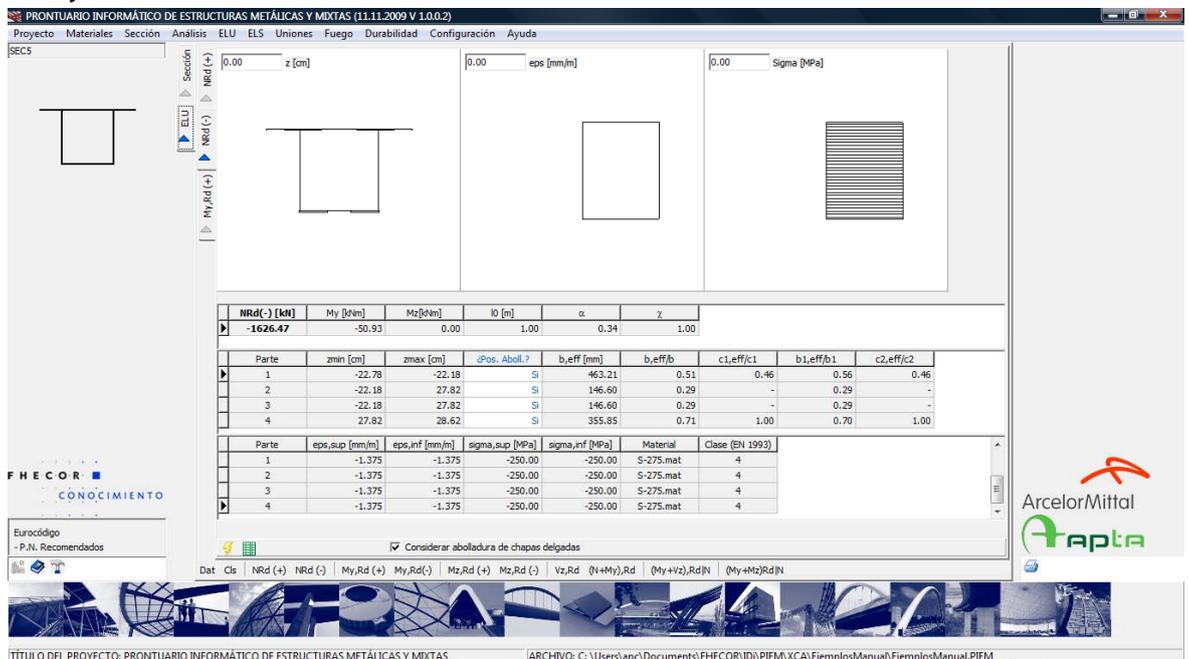


Además de los valores de los esfuerzos se indican las cotas máximas y mínimas de las chapas y su ancho, para contribuir a su identificación. Por último se indica para cada sección parcial o parte que forma la sección, su deformación máxima y mínima, la tensión máxima y mínima que está trabajando, el material del que está constituida la parte y la clase de la parte (que vale cero en el caso de no tratarse de una parte de acero estructural).

3.4.4 Máximo axil de compresión

Esta pantalla recoge más información que la anterior. En la primera tabla aparece ahora la longitud de pandeo el coeficiente α correspondiente a la curva de pandeo elegida y el coeficiente de pandeo χ correspondiente. Para determinar estos últimos valores se consideran los ejes y - y y z - z y se consignan los valores que determinan el cálculo. En la segunda tabla se incluyen, además de los valores mencionados anteriormente, los anchos eficaces de cada chapa, en términos totales y en términos parciales referidos a cada uno de los dos voladizos que puede tener una chapa y al tramo central biapoyado. En esta pantalla también se puede indicar al programa chapa por chapa, si está arriostada de alguna forma y por lo tanto no resulta necesario considerar la abolladura. Asimismo, se puede hacer el cálculo sin abolladura, dando el carácter de compactas a todas las chapas a la vez desmarcando la opción que aparece en la barra de herramientas inferior Considerar abolladura de chapas delgadas. Por último, en la tabla inferior se incluye la misma información que la especificada para la sección trabajando en tracción pura.

En el gráfico superior se dibuja la sección con sus anchos eficaces, el plano de deformación y las leyes de tensiones en los distintos materiales.



También en este caso se observa que aparece un momento concomitante con el máximo axil de compresión, debido a que, por efecto de la abolladura, el centro de gravedad de la sección eficaz se desplaza hacia abajo 3.13 cm.

Con objeto de ilustrar los efectos de la inestabilidad del elemento (pandeo), a continuación se incluye una pantalla que representa el mismo elemento anterior, pero con una luz de pandeo de 15.00 metros. Este dato debe modificarse en la pestaña de datos generales.

Descripción	Valor
a: Distancia entre riq. transversales [m]	10.00
l _{0,y} : Longitud de pandeo - flexión según eje y-y [m]	15
Curva de pandeo y-y (EN 1993-1-1 Fig. 6.4)	b
l _{0,z} : Longitud de pandeo - flexión según eje z-z [m]	1.00
Curva de pandeo z-z (EN 1993-1-1 Fig. 6.4)	c

NRd(-) [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]	l ₀ [m]	α	z
-1415.03	-44.31	0.00	15.00	0.34	0.87

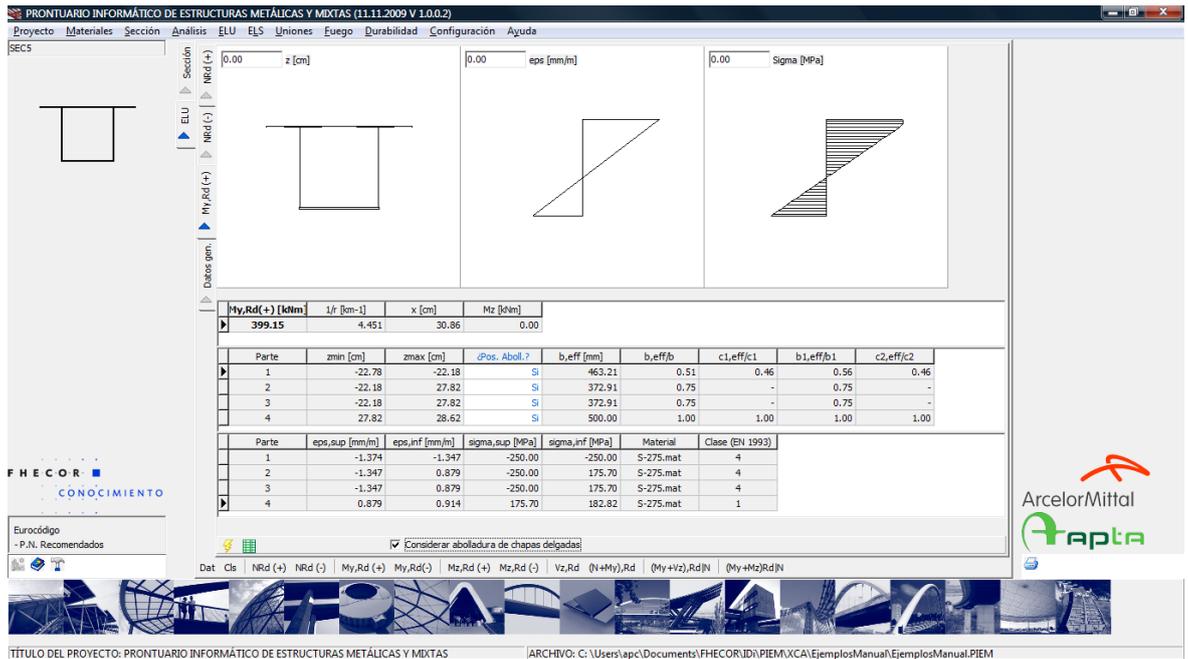
Parte	zmin [cm]	zmax [cm]	ϕPos. Abol.?	b _{eff} [mm]	b _{eff} /b	c _{1,eff} /c ₁	b _{1,eff} /b ₁	c _{2,eff} /c ₂
1	-22.78	-22.18	SI	463.21	0.51	0.46	0.56	0.46
2	-22.18	27.82	SI	146.60	0.29	-	0.29	-
3	-22.18	27.82	SI	146.60	0.29	-	0.29	-
4	27.82	28.62	SI	355.85	0.71	1.00	0.70	1.00

Parte	eps _{sup} [mm/m]	eps _{inf} [mm/m]	sigma _{sup} [MPa]	sigma _{inf} [MPa]	Material	Clase (EN 1993)
1	-1.375	-1.375	-250.00	-250.00	S-275.mat	4
2	-1.375	-1.375	-250.00	-250.00	S-275.mat	4
3	-1.375	-1.375	-250.00	-250.00	S-275.mat	4
4	-1.375	-1.375	-250.00	-250.00	S-275.mat	4

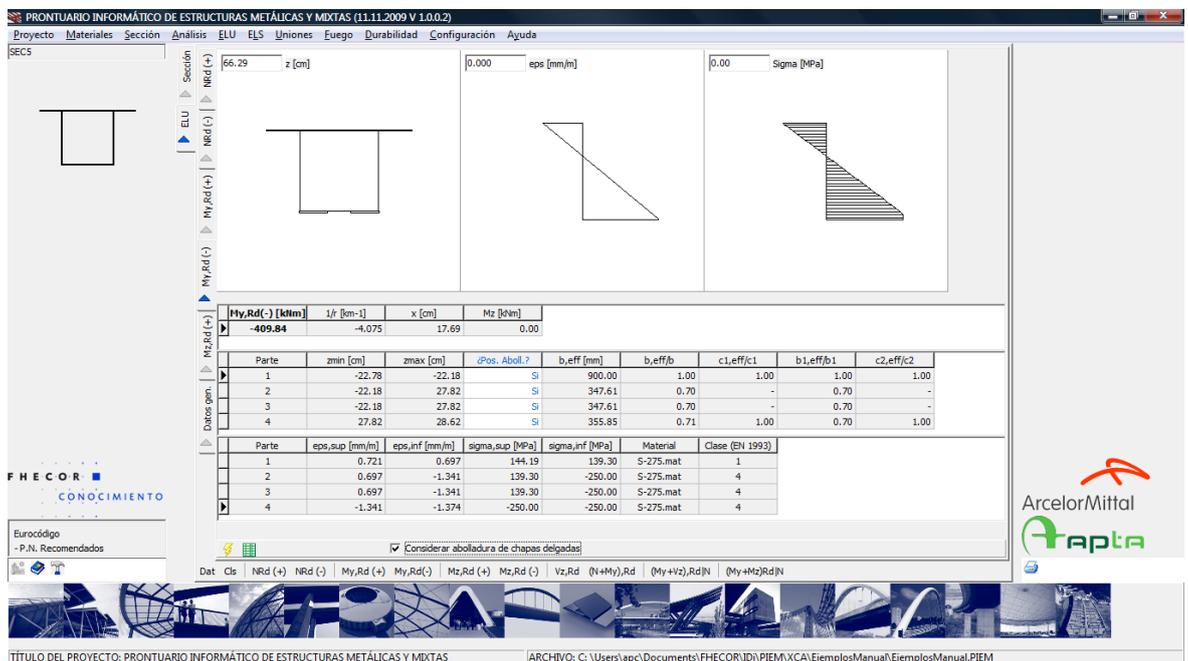
Como puede verse, en estas circunstancias la capacidad a compresión se ve reducida en un 15% pasando de 1626 a 1415 kN.

3.4.1 Máximo Momento flector

Las pantallas correspondientes a flexión simple son similares a la de compresión con la salvedad de que se eliminan los datos relativos al pandeo global (esta versión del prontuario no contempla el pandeo lateral). En la figura siguiente se muestra el cálculo del momento último positivo según el eje y-y. Se puede observar los anchos eficaces del ala superior y de las almas.



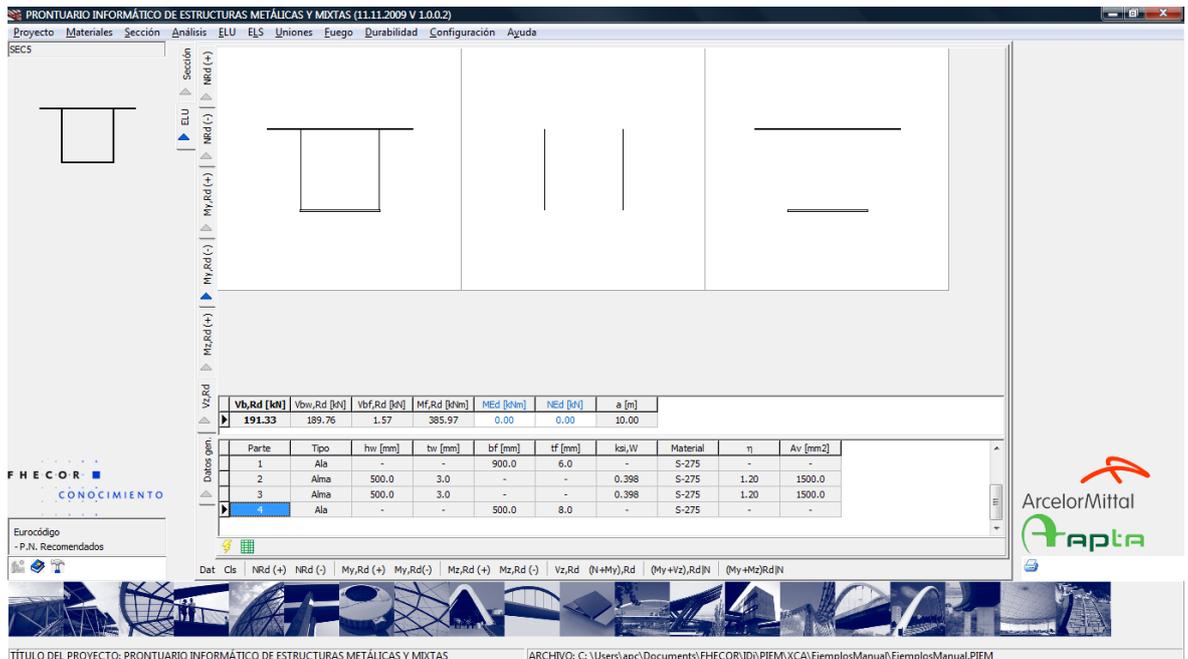
También a efectos ilustrativos, se muestra a continuación el momento último negativo de eje y-y, donde se puede ver cómo cambian los anchos eficaces de forma consistente con la variación del plano de deformación.



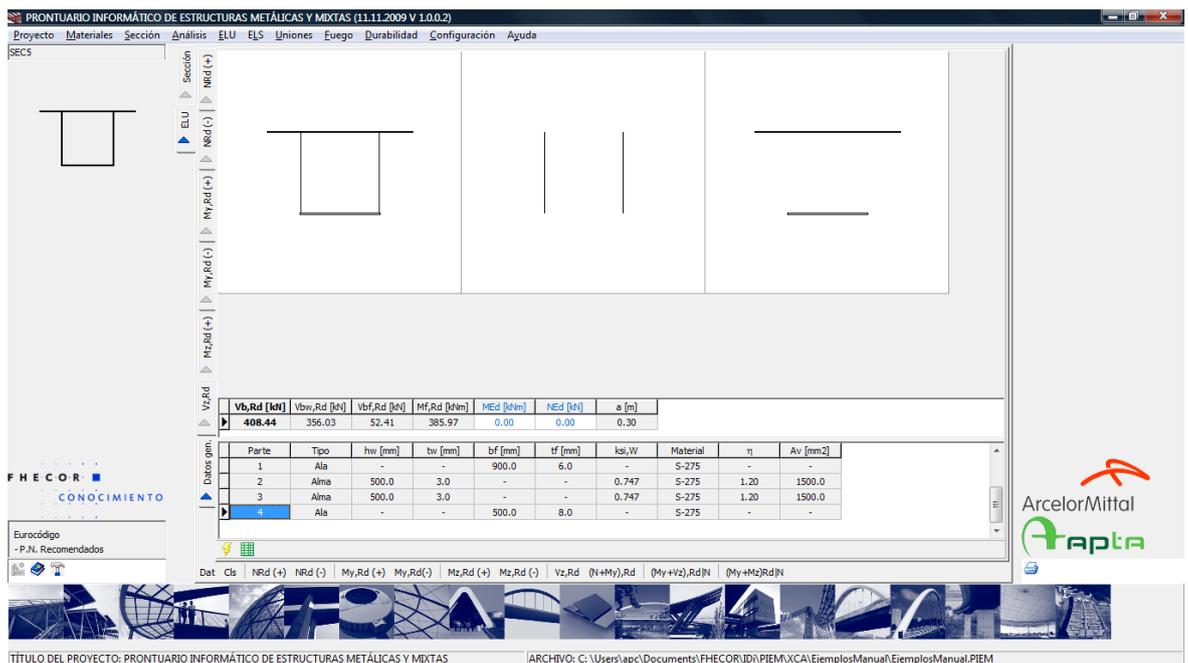
3.4.2 Esfuerzo cortante

La pantalla correspondiente a la capacidad frente a esfuerzo cortante de la sección, recoge en las figuras superiores la distribución entre alas y almas establecida en la pestaña de datos generales. Igualmente, en esta pantalla, se recoge la distancia entre rigidizadores transversales

allí definida. Como datos, se pueden introducir aquí los valores del momento flector y del axil concomitante. En el primer ejemplo, que se muestra en la pantalla siguiente, se ha adoptado un valor muy alto para distancia entre rigidizadores por lo que la contribución de las alas al cortante ultimo (cortante post-crítico) es muy pequeña. Además con rigidizadores muy separados, aumenta la esbeltez del panel y se obtiene un coeficiente de abolladura (χ_w) bajo.

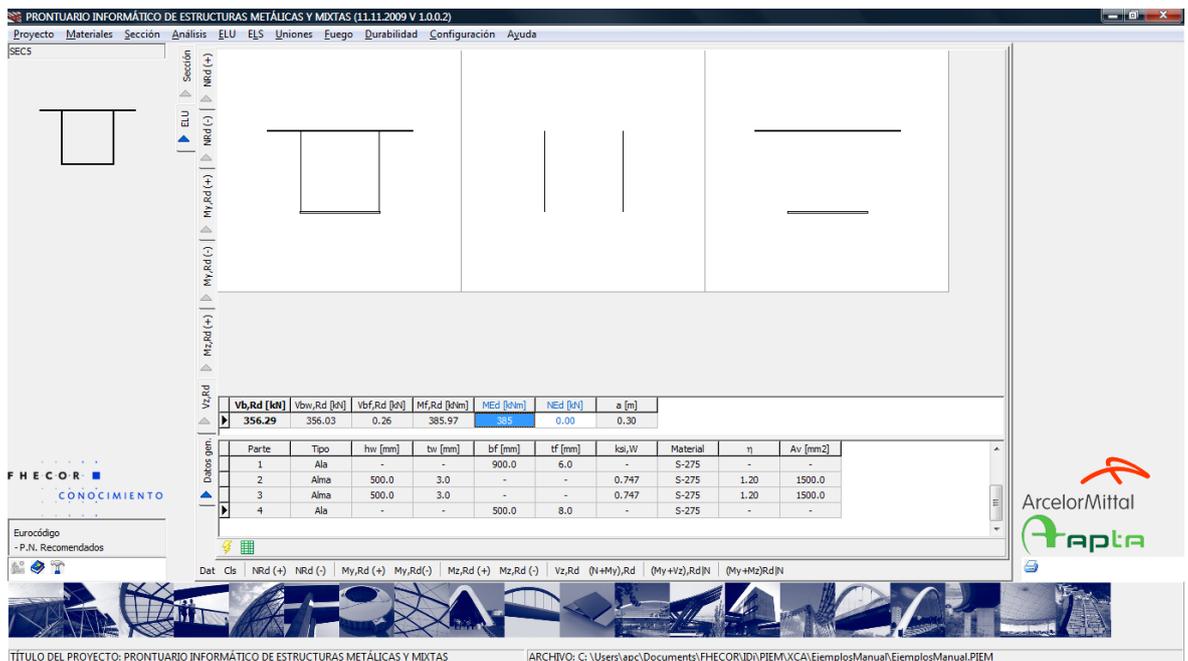


Si se modifica el valor de separación entre rigidizadores, dicha resistencia puede aumentar de forma notable como se muestra a continuación.



Como se puede ver, al disminuir la distancia entre rigidizadores aumenta no solamente el valor del cortante post-crítico sino que también aumenta el cortante resistido por el alma al aumentar el coeficiente de abolladura χ_w .

Por otra parte si se introduce un momento el valor del cortante post-crítico se reduce hasta alcanzar cero cuando el momento concomitante alcanza el momento último de las alas.



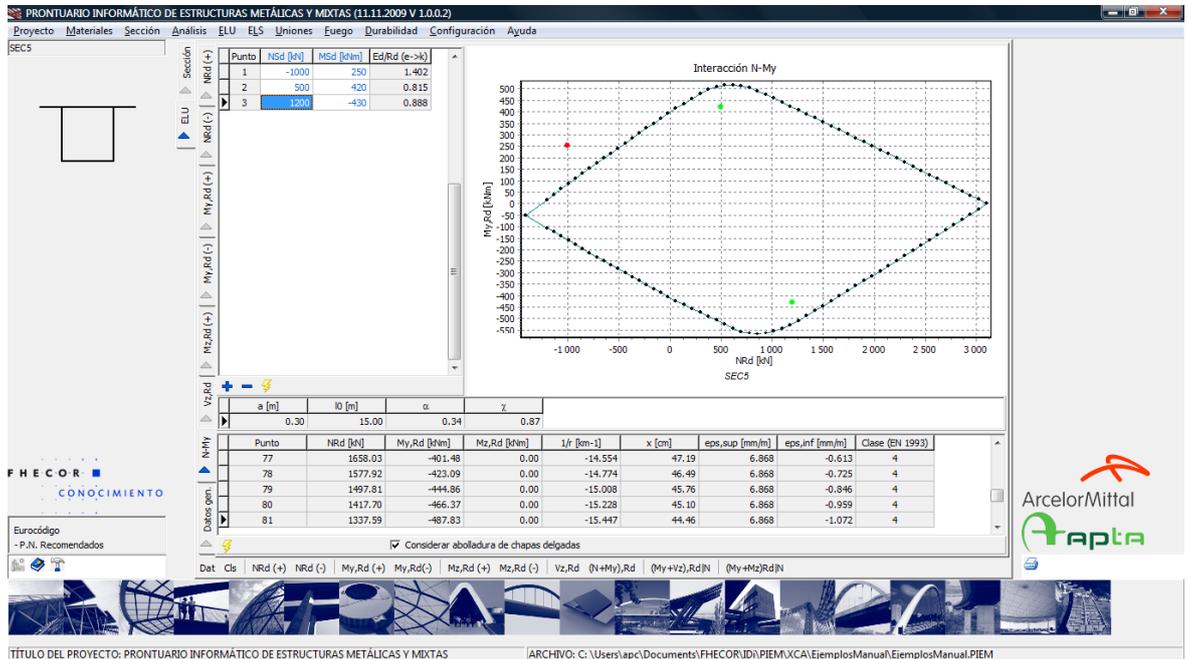
3.4.3 Interacción Momento-Axil

El programa permite construir el diagrama de interacción Momento-Axil. En el caso de tener chapas esbeltas, es habitual que el máximo esfuerzo de compresión sea concomitante con un momento que tienda a reducir la inestabilidad de las chapas. Igualmente, los momentos máximos se alcanzan para valores de axiles de tracción y no para axil nulo, como sería el caso en una sección compacta. En la figura siguiente se muestran los resultados que genera el programa.

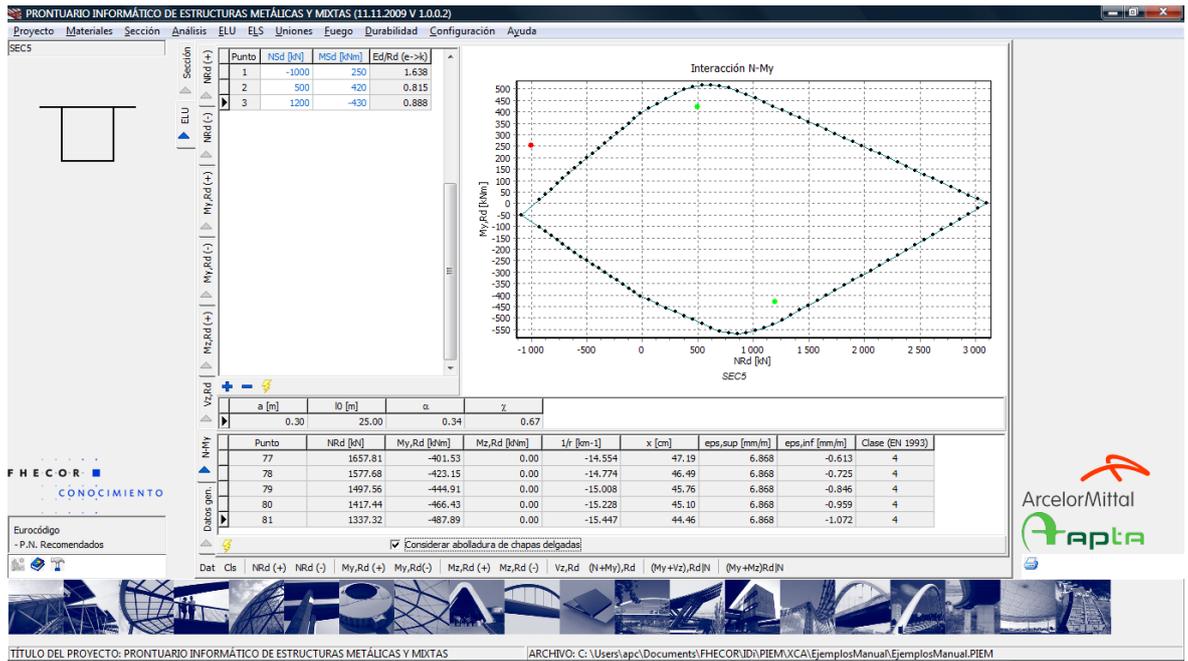
Como puede verse en la primera siguiente, para cada punto del diagrama de interacción Momento-Axil, se dan como resultados, aparte de los esfuerzos últimos, el plano de rotura al que corresponden, la deformación máxima y mínima de la sección y la clase correspondiente (según EN-1993) a cada punto del diagrama.

En la tabla situada a la izquierda del gráfico, es posible introducir los esfuerzos solicitantes (añadiendo, o quitando en su caso, líneas con los iconos **+** y **-**) y el programa calcula la seguridad (a excentricidad constante) que se tiene para estos pares. Estos puntos se representan en el gráfico en color verde si la sección resiste los esfuerzos introducidos y en

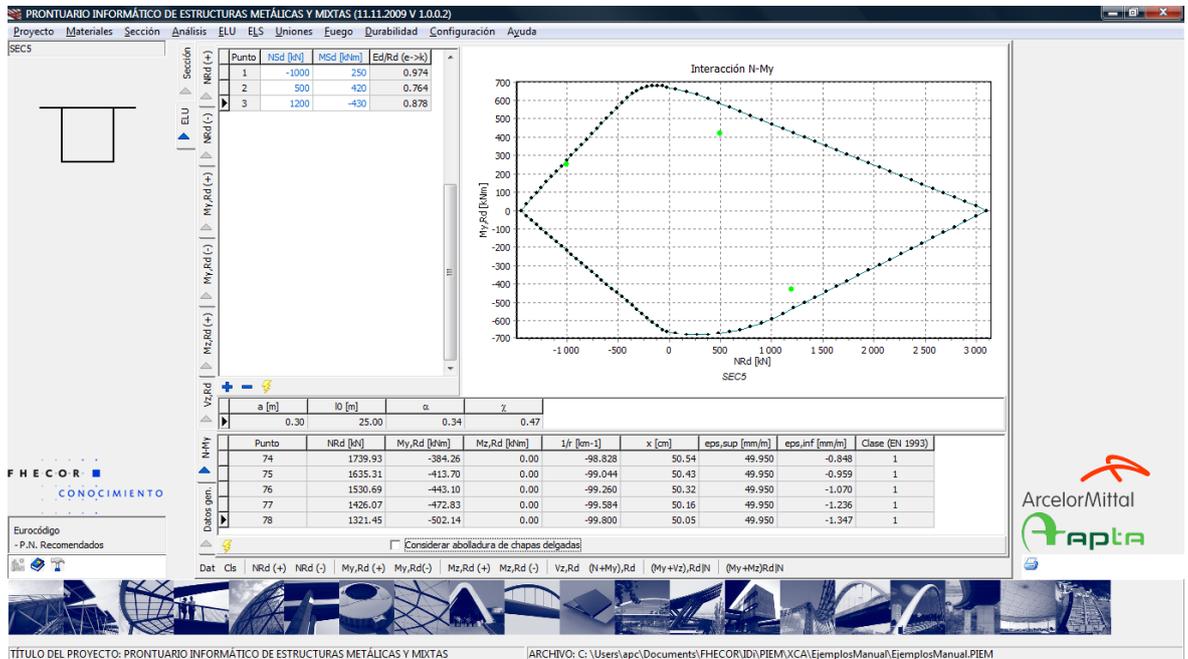
color rojo en caso contrario. Estos puntos se actualizan cada vez que se pulsa el icono de cálculo .



Por otra parte, en la tabla situada inmediatamente debajo del gráfico se indican los parámetros necesarios para tener en cuenta la inestabilidad global de los elementos comprimidos. El programa multiplica los axiles de compresión del diagrama (es decir los axiles últimos) por el coeficiente de pandeo χ . En la pantalla siguiente se muestra el mismo ejemplo anterior considerando una longitud de pandeo de 25 metros (que se introduce en la pestaña de datos generales). Se observa cómo aumenta la inseguridad del punto con axil de compresión mientras que el coeficiente de seguridad no varía para los puntos sometidos a axiles de tracción. También se ve cómo se traslada hacia la izquierda del gráfico la zona sometida a axiles de compresión.



Al igual que en el caso de la resistencia frente a un solo esfuerzo, es posible desactivar la consideración de la esbeltez de las chapas, aunque en este caso se consideran todas las chapas con carácter de compactas y no es posible efectuar el cálculo distinguiendo la posibilidad de abolladura de cada chapa. Un aspecto curioso de esta variante del cálculo es que el coeficiente de pandeo global (χ) disminuye debido a que la esbeltez aumenta puesto que ésta es proporcional a la raíz cuadrada del área eficaz (ver EN-1993-1-1 6.3.1.2).



3.4.4 Interacción Flexión-Cortante

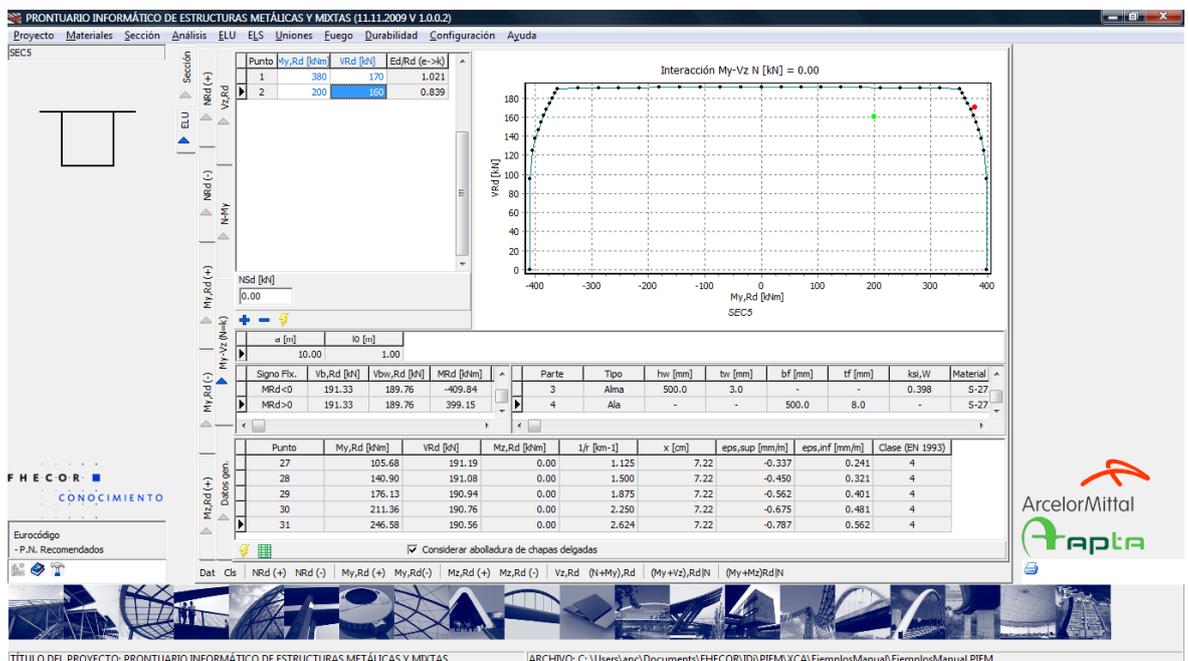
Esta opción permite el cálculo del diagrama de interacción Momento-Cortante. La pestaña está estructurada en 5 tablas y un gráfico. En la tabla inferior se recogen los puntos del diagrama de interacción, el momento de eje z-z (que será no nulo en el caso de secciones no simétricas según este eje), el plano de deformación correspondiente (curvatura y profundidad de la fibra neutra), deformación máxima y mínima de la sección y clase para dicho plano de deformación.

Por encima de esta tabla y a la izquierda se indican los puntos singulares del diagrama: cortante último ($V_{b,Rd}$), cortante resistido por el alma ($V_{bw,Rd}$), momento ultimo (M_{Rd}) y momento último que pueden resistir las alas ($M_{f,Rd}$).

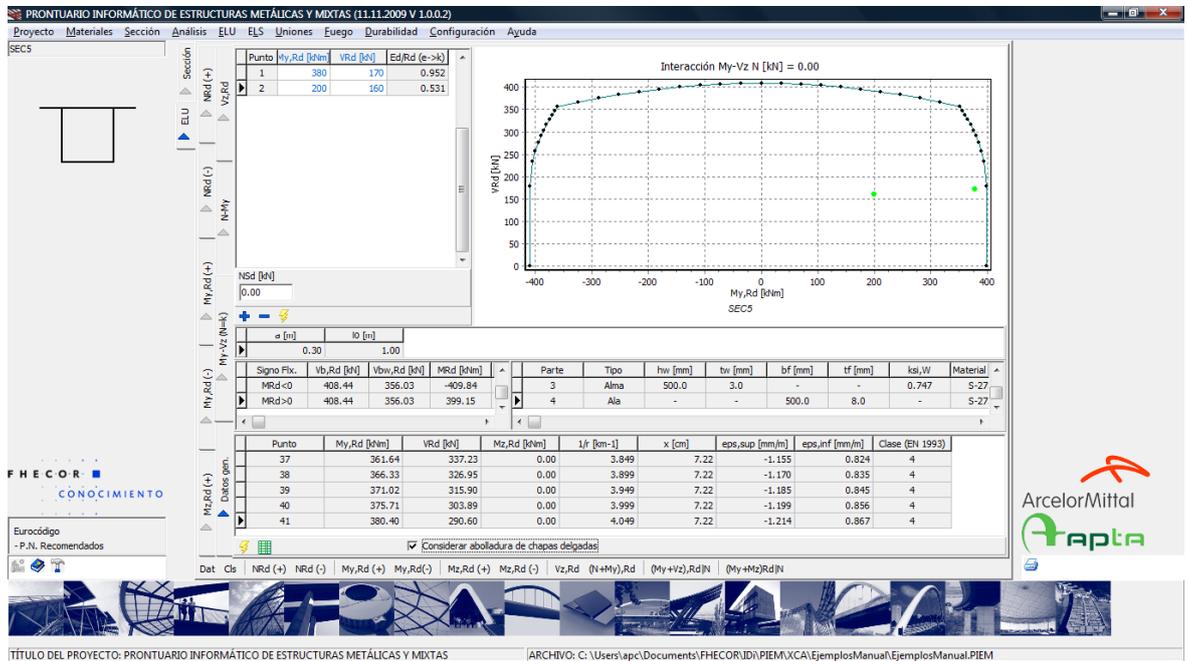
En la tabla situada a la derecha de ésta, se reproduce la tabla que aparece en la pestaña de datos generales y que incluye la definición de lo que se considera alma y los que se considera ala, así como el coeficiente de abolladura del alma (χ_w).

Por encima de estas dos tablas, se incluye la distancia entre rigidizadores transversales y la longitud de pandeo.

Por último a la izquierda de la figura se incluye una tabla donde se pueden introducir pares (M_d, V_d) para calcular la seguridad de este par frente al agotamiento con la misma filosofía que la descrita anteriormente para la interacción Axil-Momento. En la figura siguiente se muestra un ejemplo con rigidizadores muy separados. En este caso, se obtiene un diagrama muy plano.



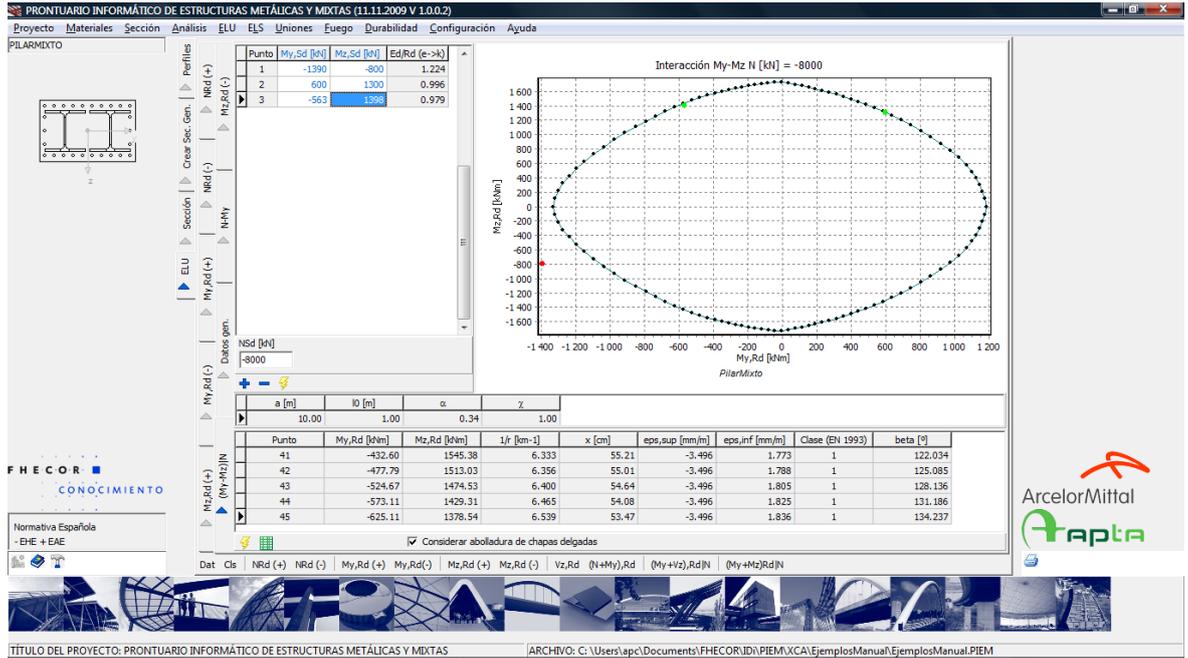
Si se reduce la separación entre rigidizadores transversales a 30 cm (un valor quizás demasiado pequeño, pero que se utiliza aquí a efectos ilustrativos), el diagrama cambia de aspecto, como se puede apreciar en la pantalla siguiente.



3.4.5 Interacción Axil- M_y - M_z

La interacción axil, con momento de eje y-y y con momento de eje z-z se ilustra con el ejemplo de un pilar mixto formado por dos perfiles HEB-300 embebidos en una sección de hormigón de geometría rectangular (0.70x0.45) y armada con barras $\phi 20$ de acero B-500S. Además de los datos ya comentados en otras opciones, se incluye para cada punto el ángulo que forma la fibra neutra con el eje horizontal (β).

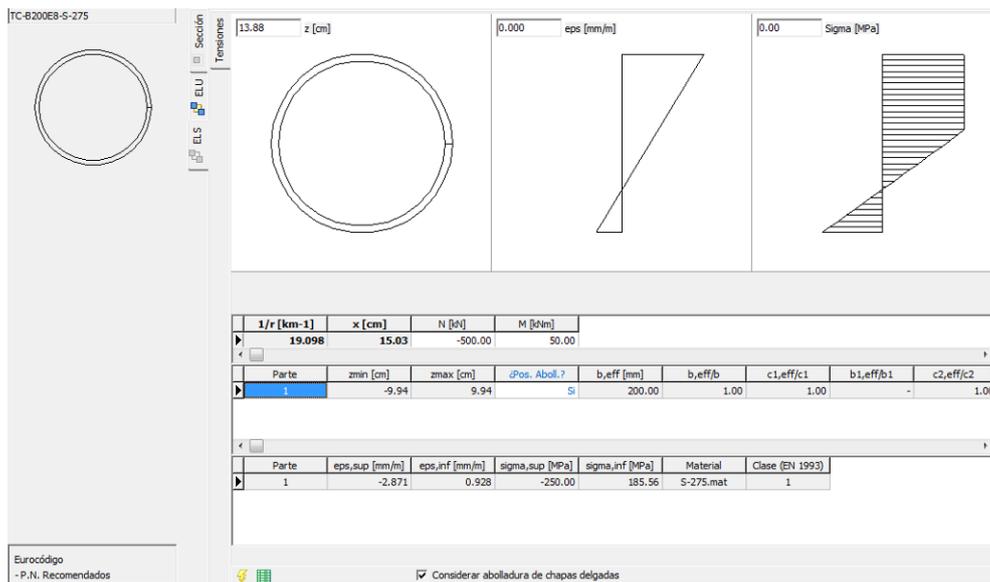
A medida que se van calculando los puntos se muestra cómo gira la sección de tal forma que el usuario tiene una visión directa del cálculo que está efectuando el programa. En el caso de que la sección tenga chapas compactas, el usuario puede visualizar cómo éstas van abollando a medida que va cambiando la orientación de los esfuerzos de flexión.

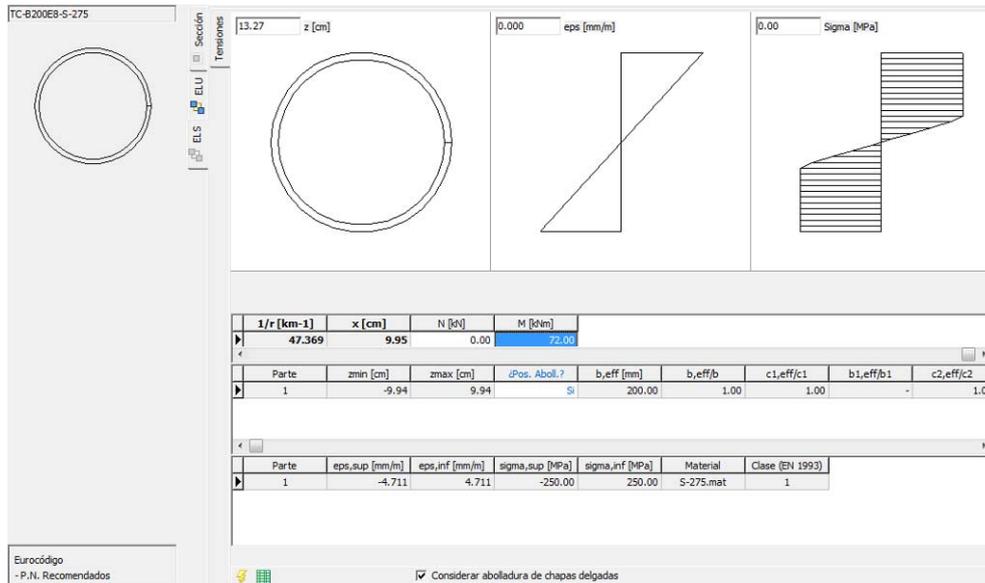


3.5 Estado Límite de Servicio

La opción de estado límite de servicio permite obtener el plano de deformación y las tensiones para cualquier par (N, M_y) . En caso en que se produzcan, este módulo tiene en cuenta la plastificación de la sección. Igualmente, se considera la posible abolladura. Si el usuario quiere desactivar esta opción puede hacerlo desactivando la opción Considerar abolladura de chapas delgadas situada en la barra inferior.

A continuación se muestra el ejemplo de un tubo sometido a dos pares de esfuerzos diferentes.





3.6 Uniones

3.6.1 Uniones atornilladas

La opción de uniones atornilladas reproduce el desarrollo llevado a cabo previamente por Jesús Ortiz et al. [14][15]. Se incluyen una serie de uniones frontales y laterales tipo que están recogidas en la publicaciones citadas y desarrolladas en hojas de cálculo Excel que se pueden obtener en la página web de APTA (www.apta.es) o en la página de CatedrAcero (catedracero.ee.upm.es). El cálculo propuesto es muy completo e incluye la comprobación de la geometría, la comprobación de la capacidad de los tornillos (en Estado límite último y en servicio), la verificación de la capacidad del nudo y la verificación de los posibles mecanismos de rotura de las chapas de unión.

La comprobación de la capacidad de los tornillos en Estado Límite último se hace con criterios plásticos mediante un algoritmo de optimización basado en programación lineal [14]. En Servicio, sin embargo se considera, como es lógico, un reparto lineal. Para efectuar este reparto se utilizan los mismos algoritmos que para verificar el estado tensional de las secciones (ELS, ver 3.5).

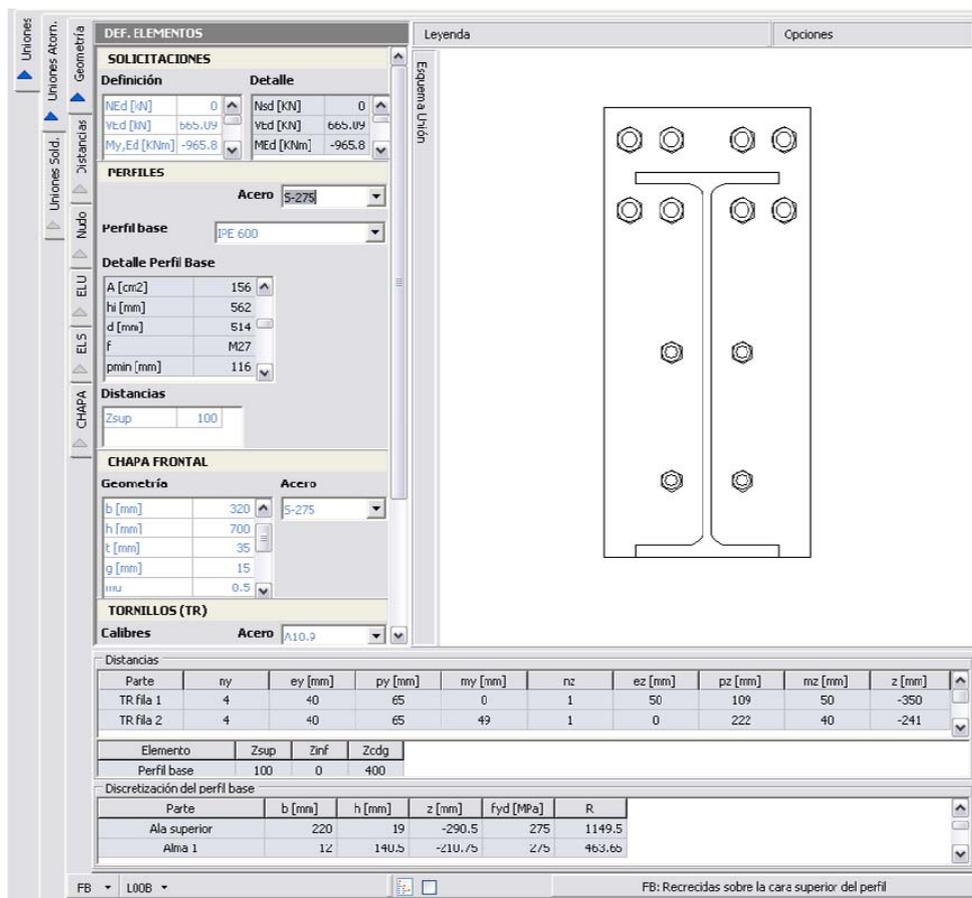
A continuación se describen las distintas pestañas donde se presentan estos cálculos.

En la pestaña de *Datos* se indican los valores que definen la unión a comprobar. Estos datos son:

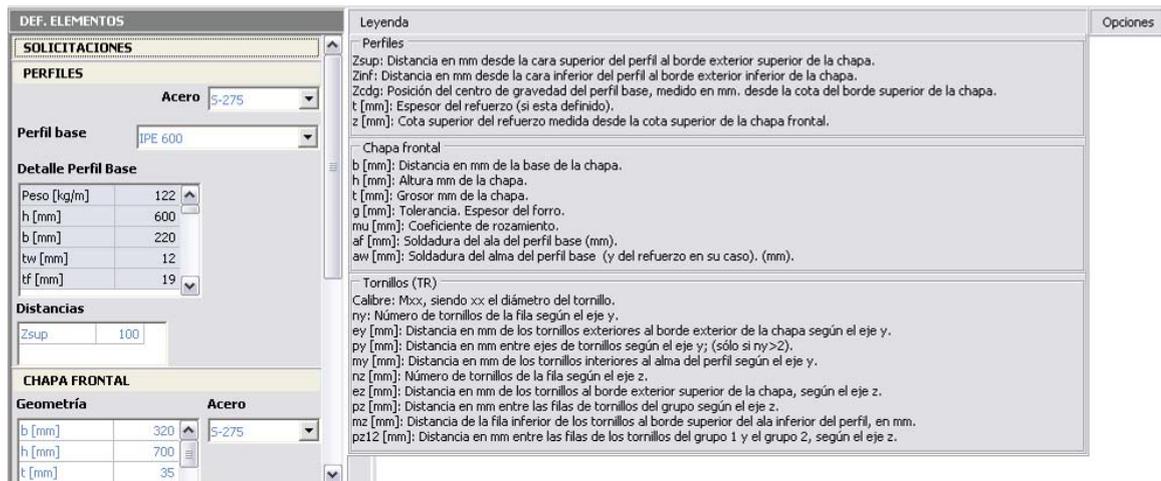
- Solicitaciones y coeficiente de ponderación de acciones: Axil, Cortante, Momento, γ_{med} (Coeficiente de seguridad medio).
- Definición del perfil que acomete la unión. En este caso se identifica el perfil base mediante su denominación como perfil laminado y se proporciona la calidad del acero utilizado. Adicionalmente, en función del tipo de unión, puede ser necesario

definir otros elementos tales como una posible chapa de refuerzo (Uniones Tipo F01B, F01BC, F10B o F20B). En uniones laterales resulta necesario definir, además, la separación entre perfiles.

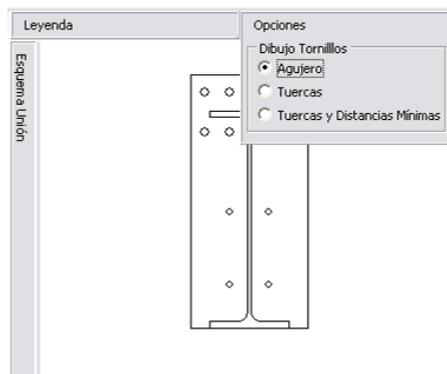
- Dimensiones de la Chapa Frontal en Uniones Frontales. En uniones frontales se deben definir las dimensiones de la chapa frontal, el material de la misma, las gargantas de soldadura del alma y de las alas del perfil, así como el coeficiente de rozamiento a efectos de comprobar el deslizamiento de la chapa.
- Dimensiones del cubrejuntas en Uniones Laterales. En uniones laterales, resulta necesario definir las dimensiones de los cubrejuntas de las alas (superior e inferior) – se supone que los cubrejuntas del ala superior e inferior son simétricos) y del alma, así como los coeficientes de rozamiento correspondientes y el material de estas chapas.
- Tornillos. Para los tornillos resulta necesario definir para cada grupo de tornillos su métrica, su posición y su calidad.
- En el caso de uniones mixtas (F00BC y F01BC), se deben definir, las dimensiones y material de la losa de hormigón y las características de la armadura pasiva (número de barras, diámetro, posición y calidad del acero).



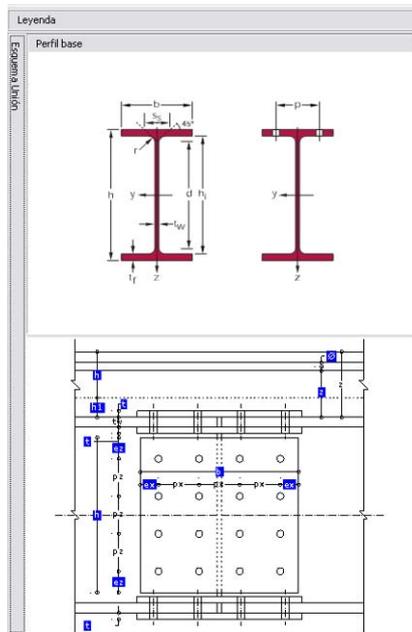
Pulsando la barra con el rótulo *Leyenda* se accede a una descripción de cada uno de los datos que se deben introducir en las tablas de la izquierda.



Desde la barra de *Opciones*, se controla el modo de visualización del esquema de la unión. Se pueden visualizar ya sean los taladros de la chapa, las tuercas de los tornillos o éstas junto con la distancia mínima que debe haber a su alrededor para cumplir con la normativa y las condiciones constructivas.



Por otro lado, pulsando en la barra denominada *Esquema Unión* se accede a imágenes acotadas que sirven de ayuda a la hora de introducir valores que posicionan los distintos elementos. A su vez, al pulsar esta última barra se activa la barra *Perfil Base*, mediante la cual se puede acceder a un esquema de perfil tipo seleccionado. Mediante el botón derecho del ratón y la opción *Vista Preliminar* se pueden visualizar todas estas imágenes en su máximo tamaño, lo cual resuelve problemas de visualización que pueden producirse, especialmente en ordenadores con una resolución baja.



El resto de pestañas, se presentan las distintas comprobaciones que realiza la herramienta. Éstas son:

- Comprobación de distancias. El programa comprueba que se cumplan las distancias mínimas entre los tornillos y el resto de elementos que los rodean, comprobando no solamente los mínimos normativos sino también que exista el espacio necesario para utilizar la maquinaria necesaria para el apriete de los tornillos. En esta pestaña se presenta también el cálculo de los factores de reducción por aplastamiento y unión larga.
- Comprobación del Nudo. En esta pestaña se comprueba la resistencia del perfil base. Esta verificación se hace mediante el diagrama de interacción Momento-Cortante.
- Comprobación en ELU. En esta pestaña se presenta la verificación de la resistencia de los tornillos, la verificación de aplastamiento de la chapa y la verificación de la resistencia del perfil a partir de los esfuerzos de los tornillos (cuyo reparto es plástico). En el caso de uniones mixtas, aquí se incluye la comprobación de la resistencia de la losa y de la armadura pasiva.
- Comprobación en ELS. En servicio se verifica el posible deslizamiento de la chapa.
- Rotura de la Chapa. En este apartado se verifican los posibles mecanismos de rotura de la chapa frontal o de los cubrejuntas, según el tipo de unión.

Uniones Atorn. Geometría

Uniones Sold. Distancias

Nudo

ELU

ELS

CHAPA

FB L00B

FB: Recrecidas sobre la cara superior del perfil

Esfuerzos en los TR:

Parte	Fv,Ed [kN]	Tt,Ed [kN]	z [mm]	My [kNm]
TR fila 1	166.46	956.78	-0.35	-334.87
TR fila 2	166.44	956.02	-0.24	-230.59
TR fila 3	130.92	141.09	-0.02	-2.68
TR fila 4	201.27	0.18	0.18	0.03

Resistencia de cada TR:

Parte	Fv,Ed [kN]	Tt,Ed [kN]	Ed/Rd	FtEd/FRd	Resultado
TR fila 1	41.52	239.19	0.88	0.94	VÁLIDO
TR fila 2	41.51	239.21	0.00	0.94	VÁLIDO
TR fila 3	65.46	70.54	0.78	0.4	VÁLIDO
TR fila 4	100.53	0.09	0.76	0	VÁLIDO

Fuerzas de palanca:

Parte	Fx [kN]	z [mm]	My [kNm]
Q	-98.37	-0.4	39.35

Esfuerzos en el Perfil:

Parte	Fx [kN]	z [mm]	My [kNm]
Ala superior	-0.13	-0.29	0.04
Alma 1	-0.18	-0.21	0.04
Alma 2	-0.50	-0.07	0.05
Alma 3	-436.32	0.07	-30.65
Alma 4	-436.56	0.21	-92.01
Ala inferior	-1082.51	0.29	-314.5

Resistencia del Perfil:

R	E/R	Resultado
1149.5	0	VÁLIDO
463.65	0	VÁLIDO
463.65	0	VÁLIDO
463.65	0.94	VÁLIDO
463.65	0.94	VÁLIDO
1149.5	0.94	VÁLIDO

Equilibrio:

Descripción	Comprobación	Resultado
VRc - VEd = Equ < 0.01 · E	(665.09) - (665.09) = 0.00 < 6.55	VÁLIDO
NRc - NEd = Equ < 0.01 · E	(0.00) - (0.00) = 0.00 < 6.65	VÁLIDO
My,Rd - My,Ed = Equ < 0.01 · E	(-955.80) - (-955.80) = 0.00 < 9.66	VÁLIDO

Aplastamiento de la chapa:

Descripción	F _o ,Rc,max	a ¹ ·k ₁ /2.5	δ _{lf}	F _b ,Rd	F _v ,Ed	F _v ,Ed/F _b ,Rd	Resultado
TR fila 1	722.4	3.46	0.96	321.54	41.52	0.13	VÁLIDO
TR fila 2	722.4	3.72	0.96	501.6	41.51	0.08	VÁLIDO
TR fila 3	602	1	0.94	567.23	65.46	0.12	VÁLIDO
TR fila 4	602	1	0.94	567.23	100.53	0.18	VÁLIDO

Uniones Atorn. Geometría

Uniones Sold. Distancias

Nudo

ELU

ELS

CHAPA

FB L00B

FB: Recrecidas sobre la cara superior del perfil

Solicitaciones F_{x,ser} sobre cada TR y esfuerzos de pretensado F_{p,C}:

Descripción	As [mm ²]	z	F _{x,ser}	F _{p,C}	F _{x,ser} /(F _{p,C} ·Gam...)	Resultado
TR fila 1	353	-350	163.44	247	0.73	VÁLIDO
TR grupo 3	245	181	-23.25	172	0	VÁLIDO

Rozamiento:

Descripción	F _s ,Rd,ser	n _y	n _z	VRd,ser
TR fila 1	112	4	1	448
TR fila 2	112	4	1	448
TR grupo 3	78.2	2	2	312.8

SUM V_z,Rd,ser: 1208.8 V_{z,ser}/VRd,ser: 0.38 Resultado: VÁLIDO

[1] Jesús Ortiz, J. Ignacio Hernando, Jaime Cervera. Uniones atornilladas frontales pretensadas. Publicaciones APTA, 2007.
 [2] Jesús Ortiz, J. Ignacio Hernando, Jaime Cervera. Uniones atornilladas laterales. Publicaciones APTA, 2009.
 [*] Las Fichas de cálculo en las que se ha basado el funcionamiento de la herramienta se facilitan gratuitamente en <http://catedraco.ee.upm.es> y <http://www.apta.org.es>

Los resultados de las pestañas descritas anteriormente son variables en función del tipo de unión que se esté comprobando.

The image displays two screenshots of a structural analysis software interface, showing design parameters, geometry, and results for a mixed steel-concrete beam connection.

Top Screenshot: Design Parameters and Geometry

DEF. ELEMENTOS

SOLICITACIONES

Definición	Detalle
NEd [kN]	Nsd [kN]
0	0
VEd [kN]	VEd [kN]
33.2676	583.27
My,Ed [kNm]	MEd [kNm]
166.875	1766.88

PERFILES

Acero: S-275

Perfil base: HE 600 B

Detalle Perfil Base

Peso [kg/m]	212
h [mm]	600
b [mm]	300
tw [mm]	15.5
tf [mm]	30

Distancias

Zsup: 0

CHAPA FRONTAL

Geometría: Acero

b [mm]	350
h [mm]	600
t [mm]	35
g [mm]	15
mu	0.5

ARMADURA PASIVA

Definición: Acero S-500-5

Distancias

Parte	ny	ey [mm]	py [mm]	my [mm]	nz	ez [mm]	pz [mm]	mz [mm]	p12 [mm]	z [mm]
TR grupo 1	4	45	77.25	45	1	75	0	45	360	-225

Discretización del perfil base

Parte	b [mm]	h [mm]	z [mm]	fyd [MPa]	R
Ala superior	300	30	-285	275	2475
Alma 1	15.5	135	-202.5	275	575.44

Bottom Screenshot: Results

Esfuerzos en los TR:

Parte	FV,Ed [kN]	Tt,Ed [kN]	z [mm]	My [kNm]
TRgr1 fila 1	214.67	1326.45	-0.23	-298.45
TRgr2 fila 1	679.35	18.48	0.14	2.49
TRgr2 fila 2	689.25	0.26	0.23	0.06

Resistencia de cada TR:

Parte	FV,Ed [kN]	Ft,Ed [kN]	Ed/Rd	FtEd/FRd	Resultado
TRgr1 fila 1	53.67	331.61	0.93	1	NO VÁLIDO
TRgr2 fila 1	169.84	4.62	0.87	0.02	VÁLIDO
TRgr2 fila 2	172.31	0.07	0.87	0	VÁLIDO

Esfuerzos en la armadura pasiva:

Parte	Fx [kN]	z [mm]	My [kNm]	R	E/R	Resultado
Armadura	1720.4	-0.38	-645.15	1712	1	NO VÁLIDO

Esfuerzos en el Perfil:

Parte	Fx [kN]	z [mm]	My [kNm]
Ala superior	-0.06	-0.28	0.02
Alma 1	-0.07	-0.2	0.01
Alma 2	-0.12	-0.07	0.01
Alma 3	-0.36	0.07	-0.02
Alma 4	-577.93	0.2	-117.03
Ala inferior	-2487.06	0.28	-708.81

Resistencia del Perfil:

Parte	R	E/R	Resultado
Ala superior	2475	0	VÁLIDO
Alma 1	575.44	0	VÁLIDO
Alma 2	575.44	0	VÁLIDO
Alma 3	575.44	0	VÁLIDO
Alma 4	575.44	1	NO VÁLIDO
Ala inferior	2475	1	NO VÁLIDO

Equilibrio:

Descripción	Comprobación	Resultado
VRd - VEEd = Equi < 0.01 · E	(1583.27) - (1583.27) = 0.00 < 15.83	VÁLIDO
MRd - MEEd = Equi < 0.01 · E	(0.00) - (0.00) = 0.00 < 15.83	VÁLIDO
My,Rd - My,Ed = Equi < 0.01 · E	(-1766.88) - (-1766.88) = 0.00 < 17.67	VÁLIDO

Aplastamiento de la chapa:

Descripción	Fb,Rd,max	a·k1/2.5	βLf	Fb,Rd	FV,Ed	FV,Ed/Fb,Rd	Resultado
TRgr1 fila 1	812.7	0.64	0.99	511.76	53.67	0.1	VÁLIDO
TRgr2 fila 1	722.4	0.89	0.98	630.35	169.84	0.27	VÁLIDO
TRgr2 fila 2	722.4	0.89	0.98	630.35	172.31	0.27	VÁLIDO

DEF. ELEMENTOS

SOLICITACIONES

Definición Detalle

NEd [kN]	5.9875	Nod [kN]	1005.99
VEd [kN]	10.4734	VED [kN]	540.47
My,Ed [kNm]	-61.16	MEd [kNm]	-61.16

PERFILES

Acero S-275

Perfil base HE 280 A

Diagonal HE 140 A

Detalle Perfil Base

Peso [kg/m]	76.4
h [mm]	270
b [mm]	280
tw [mm]	8
tf [mm]	13

Distancias

Zsup	115	bc [mm]	15
Alfa [sex]	38	hc [mm]	105

CHAPA FRONTAL

Geometría Acero

b [mm]	350	S-275
h [mm]	400	
t [mm]	35	
g [mm]	15	
mu	0.5	

TORNILLOS (TR)

Calibres Acero A10.9

Leyenda

Esquema Unión

Opciones

- Dibujo Tornillos
- Agujero
- Tuercas
- Tuercas y Distancias Mínimas

Distancias

Parte	ny	ey [mm]	py [mm]	my [mm]	nz	ez [mm]	pz [mm]	mz [mm]	z [mm]
TR:file 1	4	45	81	41.5	1	45	280	70	-205

Elemento Zsup Zinf Zcdg

Perfil base	115	15	250
-------------	-----	----	-----

Discretización del perfil base

Parte	b [mm]	h [mm]	z [mm]	Fyd [MPa]	R
Ala superior	280	13	-128.5	275	1001
Alma 1	8	61	-91.5	275	134.2

F20B - LOOB

F20B: Solicitadas a cortante + tracción + flexión

Comp. alma y alas sin rigidizadores:

Anchura reducida del ala del perfil base:

bfb / beff (ala)	0.95	VÁLIDO
------------------	------	--------

Area reducida alma para $ab=0.7 \cdot t_{fb}$

[t _{fb} -bfb] / [tw-beff,t _{wc} (alma)]	0.71	VÁLIDO
---	------	--------

Resistencia del perfil base:

n = Abs(NEd) / Npl,Rd	0.75	VÁLIDO
m = Abs(NEd) / Npl,Rd	0.20	VÁLIDO

Comprobación de la interacción N/M:

n+(1-0.5·a)·m	0.92	VÁLIDO
MN _{y,Ed} /MN _{y,Rd}	0.70	VÁLIDO
v = Vz,Ed / Vpl,z,Rd	1.07	NO VÁLIDO
v (100% Alas)	0.70	VÁLIDO

Resistencia del perfil acartelado con rigidizador

n = Abs(NEd) / Npl,Rd	0.65	VÁLIDO
v = Vz,Ed / Vpl,z,Rd	0.72	VÁLIDO
m = Abs(NEd) / Npl,Rd	0.16	VÁLIDO

Comprobación de la interacción M/V:

Abs (My,Ed) / My,V,Rd	0.17	VÁLIDO
-----------------------	------	--------

Comprobación de la interacción M/N:

Abs (MN _{y,Ed}) / MN _{y,Rd}	0.39	VÁLIDO
--	------	--------

Comprobación de la interacción M/N/V:

Abs (My,Ed) / MN _{y,Rd}	0.48	VÁLIDO
n+(1-mv)+(1-mn)mv	0.91	VÁLIDO
Abs (My,Ed) / MN _{y,Rd}	0.63	VÁLIDO

F20B - LOOB

F20B: Solicitadas a cortante + tracción + flexión

DEF. ELEMENTOS

SOLICITACIONES

Definición	Detalle
Ned [kN] 179.375	Ned [kN] 1279.38
VED [kN] 19.7856	VED [kN] .009.79
My,Ed [kNm] 1140.91	MEd [kNm] -140.91

PERFILES

Acero S-275

Perfil base HE 400 A

Diagonal HE 180 A

Detalle Perfil Base

Peso [kg/m]	125
h [mm]	390
b [mm]	300
tw [mm]	11
tf [mm]	19

Distancias

Zsup	0	tc [mm]	10
Alfa [sex]	38	b [mm]	298

CHAPA FRONTAL

Geometría Acero

b [mm]	520
h [mm]	390
t [mm]	40
g [mm]	15
mu	0.5

TORNILLOS (TR)

Calibres Acero A10.9

Distancias

Parte	ny	ey [mm]	py [mm]	my [mm]	nz	ez [mm]	pz [mm]	mz [mm]	z [mm]
TR fila 1	6	45	77.25	55	1	70	250	51	-125

Elemento

Elemento	Zsup	Zinf	Zcdg
Perfil base	0	0	195

Discretización del perfil base

Parte	b [mm]	h [mm]	z [mm]	Fyd [MPa]	R
Ala superior	300	19	-185.5	275	1567.5
Alma 1	11	88	-132	275	266.2

F10B - L00B

F10B: Acotadas a caras superior e inferior del perfil

DEF. ELEMENTOS

SOLICITACIONES

PERFILES

CUBREJUNTAS

Geometría Acero

Alma	S-275
b [mm]	480
h [mm]	475
t [mm]	15
mu	0.5

ARMADURA PASIVA

Definición Acero B-500-5

n	8	Detalle	
Ø [mm]	25	As [mm ²]	491
z [mm]	155	Fs [kN]	214

LOSA

Definición Hormigón HA-25

b [mm]	1000	Detalle	
h [mm]	140	z [mm]	200
b1 [mm]	1000	Ac2 [mm ²]	140000

TORNILLOS (TR)

Calibres Acero A10.9

TR alma	M20	TR alma M20	20
TR alas	M20	d [mm]	22
		Ø0 [mm]	245
		As [mm ²]	314
		cmh [mm]	37.29
		k [mm]	13
		p [mm]	2.5

Distancias TR alma

rx	6	px [mm]	74
ex [mm]	55	py [mm]	32.5
nz	4	ey [mm]	29.5

Distancias

Parte	rx	ex [mm]	px [mm]	exb [mm]	ny	ey [mm]	py0 [mm]	py [mm]	ey1 [mm]	my [mm]	eyb [mm]	nz	ez [mm]	pz [mm]	exb [mm]	mz [mm]
TR alma	6	55	74	29.5	2	55	190	0	55	67.3	55	4	65	115	127.5	97.5
TR alas	6	50	80	32.5												

F10B - L00BC

L00BC: Flexión simple para vigas mixtas

Uniones Soldadas

Esfuerzos en los TR:

Parte	Fv,Ed [kN]	Tt,Ed [kN]	z [mm]	My [kNm]	Resultado
TR alma 1	439.75	-36.46	-0.17	6.29	VÁLIDO
TR alma 2	439.75	142.11	-0.06	-8.17	VÁLIDO
TR alma 3	439.75	320.69	0.06	18.44	VÁLIDO
TR alma 4	439.75	499.26	0.17	86.12	VÁLIDO
TR alas 1	0	-512.6	-0.28	146.09	VÁLIDO
TR alas 2	0	1926.01	0.28	548.91	VÁLIDO

Resistencia de cada TR:

Fv,Rd [kN]	Fz [kN]	Fx [kN]	Fv,Ed [kN]	FvEd/FvRd	Resultado
151	73.29	-6.08	73.54	0.49	VÁLIDO
151	73.29	23.69	77.02	0.51	VÁLIDO
151	73.29	53.45	90.71	0.6	VÁLIDO
151	73.29	83.21	110.89	0.73	VÁLIDO
151	0	-42.72	42.72	0.28	VÁLIDO
151	0	160.5	160.5	1.06	NO VÁLIDO

Esfuerzos en la Losa:

Parte	Fx [kN]	z [mm]	My [kNm]	sigma1 [MPa]	z1 [mm]	sigma2 [MPa]	z2 [mm]	max(sigma...)	zVálido?
Losa 1	-449.66	-0.49	218.63	-16.77	-0.5	-15.35	-0.47	-0.92	VÁLIDO
Losa 2	-409.87	-0.46	187.81	-15.35	-0.47	-13.93	-0.44	-0.84	VÁLIDO
Losa 3	-370.09	-0.43	159.23	-13.93	-0.44	-12.51	-0.42	-0.75	VÁLIDO
Losa 4	-330.3	-0.4	132.87	-12.51	-0.42	-11.09	-0.39	-0.67	VÁLIDO
Losa 5	-290.52	-0.37	108.75	-11.09	-0.39	-9.67	-0.36	-0.58	VÁLIDO
Losa 6	-112.33	-0.35	39.77	-9.67	-0.36	-9.06	-0.35	-0.54	VÁLIDO
Losa 7	-105.02	-0.34	35.92	-9.06	-0.35	-8.45	-0.34	-0.51	VÁLIDO
Losa 8	-97.71	-0.33	32.25	-8.45	-0.34	-7.84	-0.32	-0.47	VÁLIDO

Esfuerzos en la armadura pasiva:

Parte	Fx [kN]	z [mm]	My [kNm]	R	E/R	Resultado
Armadura	0	-0.46	0	1712	0	VÁLIDO

Equilibrio:

Descripción	Comprobación	Resultado
VRd - VEd = Equi < 0.01 E	(1759.00) - (1759.00) = 0.00 < 17.59	VÁLIDO
NRd - NEd = Equi < 0.01 E	(0.00) - (0.00) = 0.00 < 17.59	VÁLIDO
My,Rd - My,Ed = Equi < 0.01 E	(1767.12) - (1767.00) = 0.12 < 17.67	VÁLIDO

Aplastamiento de la chapa:

Distribución de esfuerzos en los tornillos

Distribución lineal de esfuerzos

Distribución plástica de esfuerzos

Distribución lineal de esfuerzos

Descripción	Fb,Rd,max	a+k1/2.5	Blf	Fb,Rd	Fv,Ed	Fv,Ed/Fb,Rd	Resultado
TR alma 1	266.6	0.73	0.99	192.38	147.09	0.76	VÁLIDO
TR alma 2	266.6	0.73	0.99	192.38	154.05	0.8	VÁLIDO
TR alma 3	266.6	0.73	0.99	192.38	181.42	0.94	VÁLIDO
TR alma 4	266.6	0.73	0.99	192.38	221.77	1.15	NO VÁLIDO
TR alas 1	516	0.81	1	415.67	85.43	0.21	VÁLIDO
TR alas 2	516	0.81	1	415.67	321	0.77	VÁLIDO

F10B L00BC L00BC: Flexión simple para vigas mixtas

Mecanismo de rotura:

Resistencia de la sección neta:

Perfil base:	VEd	VRd	VED/VRd	Resultado
Alma:	1759.00	1929.68	0.91	VÁLIDO
Alas:	NEd	NRd	NEd/NRd	VÁLIDO
Alas:	-512.60	2377.73	-0.22	VÁLIDO
Cubrejuntas:	VEd	VRd	VED/VRd	VÁLIDO
Alma:	879.50	1152.92	0.76	VÁLIDO
Alma:	NEd	NRd	NEd/NRd	VÁLIDO
Cubrejuntas exterior:	-256.30	1585.15	-0.16	VÁLIDO
Cubrejuntas interior:	-128.15	619.20	-0.21	VÁLIDO

Resistencia a desgarro del alma:

Perfil base:	VEd	VRd,v	VRd,t	VRd	VED/VRd	Resultado
Perfil base:	1759.00	1114.61	326.58	1441.20	1.22	NO VÁLIDO
Cubrejuntas:	879.50	793.06	381.84	1174.90	0.75	VÁLIDO

Resistencia a desgarro del alma:

Perfil base:	VEd	VRd	VED/VRd	Resultado
Perfil base:	1759.00	1759.19	1.00	VÁLIDO
Alma:	1759.00	1929.68	0.91	VÁLIDO
Alas:	1759.00	1775.49	0.99	VÁLIDO
Cubrejuntas:	879.50	1131.25	0.78	VÁLIDO
Alma:	879.50	1152.92	0.76	VÁLIDO
Alas:	879.50	1527.58	0.58	VÁLIDO

F10B L00BC L00BC: Flexión simple para vigas mixtas

3.6.2 Uniones Soldadas

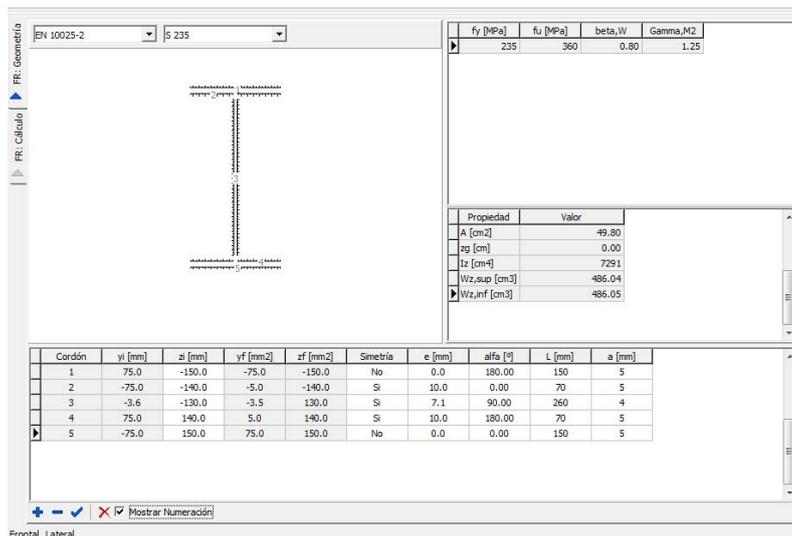
Uniones frontales

Para las uniones soldadas, se ha planteado la posibilidad de definir estas soldaduras de una forma bastante general. En la pantalla siguiente se muestra el aspecto de esta pestaña. Por defecto, el programa genera una unión con cinco soldaduras (3 de ellas, simétricas, se cuentan como una única soldadura). Esta propuesta se puede recuperar en cualquier momento

pulsando sobre el botón . Mediante los iconos  y , se pueden añadir o eliminar cordones de soldadura.

Los datos que se introducen, para cada uno de estos cordones son la cota inicial (z_i), si el cordón tiene un cordón simétrico o no, y en el caso en que sea así, la distancia horizontal entre el puntos de inicio de los dos cordones simétricos, el ángulo (α) que forma el cordón respecto de la horizontal, su longitud (L) y el espesor de su garganta (a).

A partir de estos valores, el programa calcula las coordenadas inicial y final de cada cordón y las propiedades mecánicas del conjunto de las soldaduras. Además, en esta pestaña se define el material base, a partir del cual se calculan el límite elástico, la tensión de rotura y el coeficiente de correlación (β_w). También se indica el valor del coeficiente de seguridad del acero.



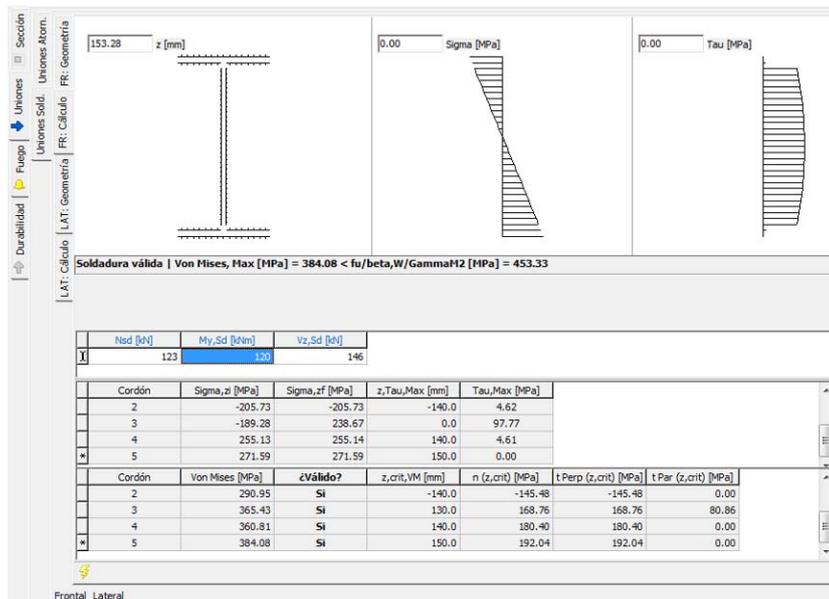
A partir de estos datos y con criterios elásticos, se verifica la capacidad de la soldadura para transmitir los esfuerzos que debe introducir el usuario. Estos resultados se presentan en la pestaña *FR: Cálculo*. En la tabla de resultados superior se indica para cada cordón de soldadura cuáles es la tensión normal (σ) máxima y mínima cuál es la tensión tangencial máxima en el cordón (τ) y en qué cota ($z_{\tau,max}$) se produce este valor máximo. A partir de los valores de σ y τ y de la inclinación (α) de la soldadura, se calculan la tensión normal a la garganta (n), paralela al plano de la garganta (t_{perp}) y paralela al eje del cordón (t_{par}). Finalmente se calcula la tensión de comparación mediante la expresión:

$$\sigma_{c0} = \sqrt{n^2 + 3(t_{perp}^2 + t_{par}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

Se da la tensión de cada cordón con objeto de que se pueda comprobar cuáles van holgados y cuáles son críticos a efectos de optimizar los espesores de garganta. Adicionalmente, se indica, debajo de los gráficos que representan las tensiones normales y tangenciales, si la

soldadura es válida o no, el valor máximo de la tensión de comparación y el valor admisible para el material base elegido.

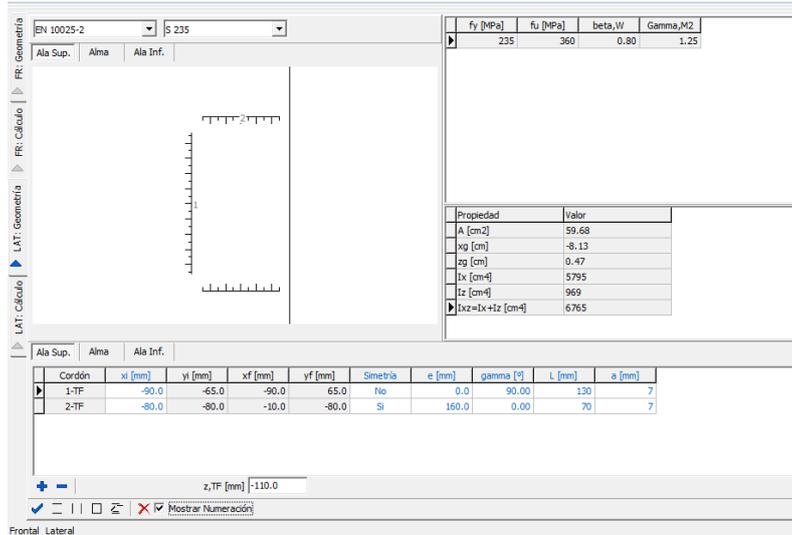
Puesto que no se solicita ningún dato relativo a las piezas que van a ser soldadas, es responsabilidad del usuario verificar que no se sobrepasan los espesores de soldadura máximos.



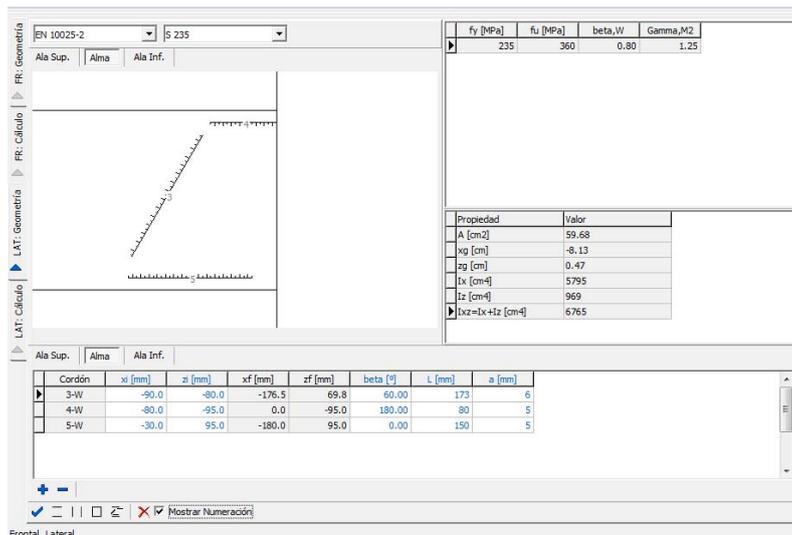
Uniones laterales

El tratamiento de las uniones laterales es similar al de las uniones frontales, aunque en este caso, la entrada de datos es algo más complicada debido a la tridimensionalidad del problema.

Las soldaduras se introducen en 3 páginas de un libro situado dentro de la pestaña LAT: Geometría. La primera página corresponde a las soldaduras del ala superior, la segunda a las soldaduras del alma y la tercera las soldaduras situadas en el ala inferior. Para las alas superior e inferior se introduce el valor de la cota (z) del ala correspondiente en la barra de herramientas inferior z_{TF} [mm] -100.0. Para las alas, los datos que se introducen relativos a los cordones son los mismos que para las soldaduras frontales, con la salvedad de que los cordones inclinados se miden mediante el ángulo γ , que mide la desviación del cordón de soldadura respecto del eje longitudinal de las vigas a unir y que las coordenadas que se manejan son la x y la y en lugar de la y y la z.



Para las soldaduras del alma, no se consideran simetrías. Además para definir su geometría hace falta introducir tanto coordenadas x y z del punto inicial (x_i, z_i)



Para el cálculo de las tensiones en las soldaduras de las uniones laterales, se calculan por separado las tensiones que genera el esfuerzo axial, las tensiones que genera el momento y las tensiones que genera el esfuerzo cortante.

Para determinar las tensiones que genera el momento, se distingue entre soldaduras del alma y soldaduras de las alas.

En el caso del alma, si se denomina \vec{AB} al vector que une los puntos extremos de la soldadura y \vec{u}, \vec{v} y \vec{w} a los vectores unitarios según los ejes de coordenadas x, y y z, y \vec{r} al vector que une un punto de una soldadura con el centro de gravedad de las soldaduras, la tensión que se genera en una dirección perpendicular a \vec{r} , se puede determinar a partir de:

$$\sigma_{\perp,r} = \frac{M}{I_x + I_z} \|\vec{r}\|$$

A partir de esta tensión se pueden obtener las tensiones σ y τ_{par} , perpendiculares y paralelas a al eje de la soldadura. Para ello resulta necesario obtener en primer lugar la dirección de la perpendicular en el plano de las soldaduras al vector \vec{r} , \vec{r}_\perp . Para ello se utiliza el producto vectorial.

$$\vec{r}_\perp = \frac{\vec{r}}{\|\vec{r}\|} \times \vec{v}$$

A continuación, se determina el ángulo que forma el vector \vec{r}_\perp con el cordón de soldadura mediante el producto escalar:

$$\theta = a \cos \left(\frac{\vec{r}_\perp \cdot \overline{AB}}{\|\overline{AB}\|} \right)$$

Finalmente se determina las tensiones σ y τ_{par} :

$$\sigma = \sigma_{\perp,r} \sin \theta$$

$$\tau_{par} = \sigma_{\perp,r} \cos \theta$$

A partir de los valores de σ y τ_{par} , se obtienen, igual que para el caso de las soldaduras frontales las tensiones según los ejes perpendicular y paralelos al plano de la garganta.

3.7 Durabilidad

La opción de durabilidad se divide en dos pestañas, una relativa a la durabilidad del hormigón y una segunda relativa a la durabilidad del acero.

En lo referente a la durabilidad del hormigón, se implementan los criterios establecidos por la EHE-o8 (método simplificado incluido en el articulado). En función de la clase general de exposición, la clase específica de exposición, el tipo de cemento y de la resistencia del hormigón, la vida útil requerida, el tipo de hormigón (en masa, armado o pretensado) y el nivel de control de la ejecución, este módulo proporciona la resistencia mínima que debería tener el hormigón a utilizar, la máxima relación agua-cemento, el contenido mínimo de cemento y el recubrimiento mínimo de las armaduras.

A continuación se presenta un ejemplo.

Definición de ambientes [EHE-08]

Clase Gen. Exposición: Clase Espec. Exposición: Tipo de Cemento: fck [MPa]:

Vida útil: 50 años 100 años

Tipo de Hormigón: En masa Armado Pretensado

Nivel de Control: Prefabricado In situ - Control Intenso Resto de casos

Designación	Clase	Sub-clase	Tipo de proceso
IIa	Normal	Humedad alta	Corrosión por carbonatación
Qa	Química agresiva	Débil	Ataque químico

Condiciones que debe cumplir el hormigón [EHE-08]

fck,min [MPa]	a/c,max	c,min [kg/m3]	r,min [mm]
30.0	0.50	325	ir,min > 75mm!

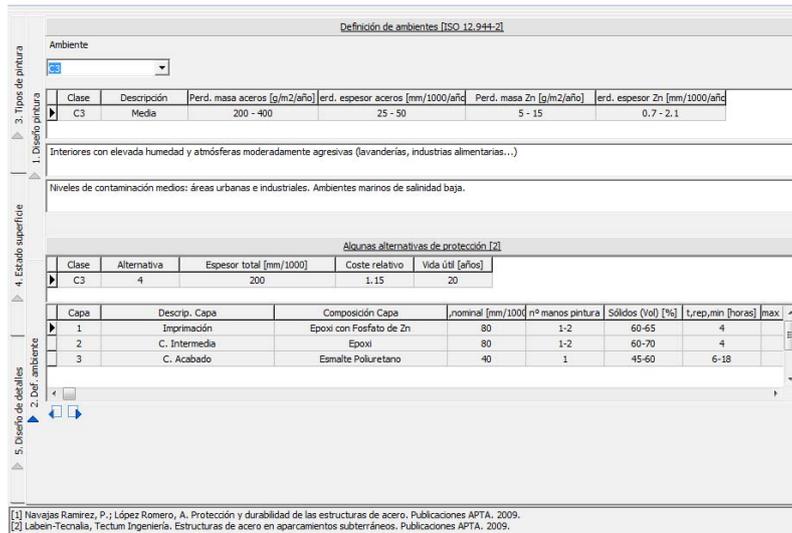
En lo relativo a la durabilidad del acero, se presentan cinco pestañas complementarias, basadas en las referencias [16] y [17], ambas correspondientes a publicaciones de APTA. En la primera se intenta definir los pasos que deben abordarse con objeto de obtener un buen sistema de protección. Estos pasos abarcan desde una definición adecuada del ambiente y condiciones de servicio de la estructura, pasando por el diseño de las pinturas, identificación del estado inicial del acero, limpieza y preparación de las superficies, control durante la ejecución de las operaciones de pintado y control sobre el producto terminado hasta el plan de inspección y mantenimiento.

PASOS PARA DEFINIR LA PROTECCIÓN DE SUPERFICIES DE ACERO MEDIANTE PINTURAS [1]

- Determinación de las condiciones de exposición del acero (ISO-12944-2) -> Pestaña 2
- Elaboración de la especificación de pintura (ISO-12944-8) -> Pestaña 3
- Selección del esquema de pintura apto para las condiciones de exposición (ISO-12944-5) -> Pestaña 3
- Identificación del estado inicial del acero (ISO-8501-1) -> Pestaña 4
- Limpieza y preparación de superficies metálicas (ISO-8501-1/ISO-12944-4) -> Pestaña 4
- Control de calidad durante los trabajos de preparación de superficie y pintado:
 - Control de las condiciones ambientales (humedad relativa, temperatura del acero, temperatura del aire, punto de rocío, viento, etc.)
 - Elaboración de probetas o áreas de referencia
 - Control de equipos y grado de preparación de superficies de acero
 - Control de las herramientas y equipos de aplicación
 - Control en la preparación de las pinturas para su aplicación
 - Control de espesores de película de pintura en húmedo
- Control de calidad sobre los trabajos terminados
 - Medición de espesores
 - Medición de adherencia
 - Grado de curado del revestimiento
 - Formación de la película (sin descuelgues, piel de naranja, pulverización seca, etc.)
- Plan de inspección y mantenimiento.

[1] Navajas Ramirez, P.; López Romero, A. Protección y durabilidad de las estructuras de acero. Publicaciones APTA, 2009.
 [2] Labein-Technal, Tectum Ingeniería. Estructuras de acero en aparcamientos subterráneos. Publicaciones APTA, 2009.

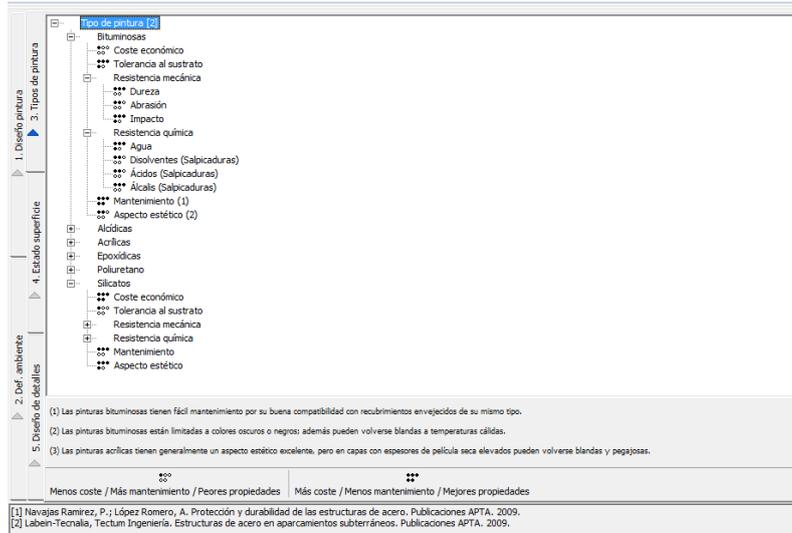
En una segunda pestaña se definen los ambientes a partir de los criterios establecidos por la ISO 12.444-2 [12]. Para cada ambiente, se proporcionan algunas posibles propuestas para sistemas de pintado aptos para el mismo. Se trata sin embargo de simples ejemplos que no agotan las posibilidades y que dado la velocidad a la que se suceden los progresos en este campo pueden quedar obsoletas en un tiempo relativamente corto.



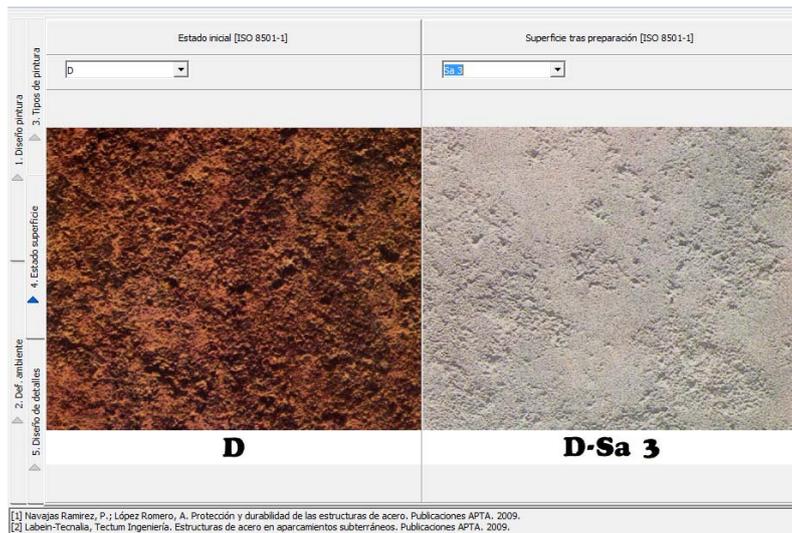
En la pestaña 3 se clasifican las pinturas en función de su composición y se proporciona para cada uno de estos tipos información respecto de su adecuación según los criterios siguientes:

- Coste inicial
- Tolerancia al sustrato
- Resistencia mecánica
 - Dureza
 - Abrasión
 - Impacto
- Resistencia química
 - Agua
 - Disolventes (salpicaduras)
 - Ácidos (salpicaduras)
 - Álcalis (salpicaduras)
- Mantenimiento
- Aspecto estético

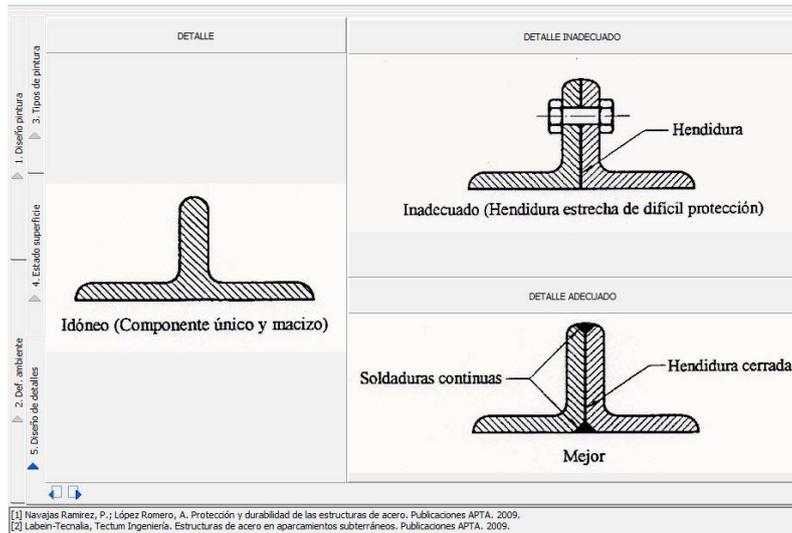
Esta tabla puede ser de gran ayuda para diseñar el sistema de pintado más conveniente en función de cada problema particular.



En la pestaña número 4 se recogen los gráficos de la ISO 8501-1 que definen el estado inicial de la superficie de acero, previa al tratamiento superficial y el aspecto de la superficie que quedaría tras dicho tratamiento en función de cómo sea éste. Estos gráficos pueden ayudar a elegir el tipo de pintura más idóneo en función de su tolerancia al sustrato.



Por último en la pestaña 5 se recogen una serie de detalles para los que se valora desde el punto de vista de la durabilidad distintas soluciones posibles. Estas imágenes aparecen en el borrador de la futura EAE [10].



3.8 Resistencia al Fuego

En la opción de Fuego del prontuario se implementa el método simplificado del Eurocódigo (EN-1991-1-2 y EN-1993-1-2). La opción se estructura mediante 3 sub-pestañas. En la primera, se definen los datos necesarios para el cálculo. Estos datos son: los coeficientes de mayoración de la carga permanente y de la sobrecarga, el coeficiente de combinación cuasipermanente (ψ_2), y la relación entre los esfuerzos solicitantes de diseño y los esfuerzos resistentes (holgura del diseño). A partir de estos datos, se determina el coeficiente de utilización (μ_0). El coeficiente κ_1 se calcula a partir del tipo de protección que se establezca para el perfil seleccionado (que se define mediante los iconos y), mientras que el coeficiente κ_2 depende de si la comprobación que se está llevando a cabo corresponde al apoyo de una viga continua o no.

PRONTUARIO INFORMÁTICO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS Y MIXTAS

Proyecto: LFN_400_5-275

Analisis: μ 1.35, $\gamma_{m,Q}$ 1.50, $\psi_{t,2}$ 0.30, σ_k/σ_k 0.50, $f_y/235$ 1.17

Sección: P_{Sd}/R_{Ed} $\kappa_{p,1}$ 1.00, $\kappa_{p,2}$ 1.00, $\kappa_{p,3}$ 1.00, $\kappa_{p,4}$ 1.00, μ 0.47

Temp. Crítica: t de resist. al Fuego

Uniones: t de resist. al Fuego

Fuego: $\kappa_{p,2}$

Durabilidad: Sección de apoyo de viga continua, Otros Casos

Protección rectangular de espesor constante expuesto al fuego en 3 caras

Id	dp [mm]	cp [J/kgK]	rhcp [kg/m3]	ca [J/kgK]	rhoa [kg/m3]	lambdap [W/mK]
5	15	1100	550	600	7850	0.12

Id	Ap [m2/m]	V [m3/m]	P [1/m]	fi	Pmod [W/m3K]	Theta,cr [°C]	t [min]
5							

tiempo [min]	dh,net,c [W/m2]	dh,net,r [W/m2]	dh,net [W/m2]	Theta,g [°C]	Theta,a,Unpr [°C]	Theta,a,Pr [°C]
118	63	937	1000	1047	1044	651
119	63	929	991	1048	1045	654
120	62	921	983	1049	1047	657

Logo: FHECOR CONOCIMIENTO, ArcelorMittal, TAPLA

A partir del grado de utilización se puede determinar la temperatura crítica para la cual se produciría el colapso de la estructura. Este resultado se da en la siguiente pestaña.

μ	Theta,cr [°C]
0.32	681
0.33	673
0.35	665
0.37	658
0.39	651
0.40	644
0.42	637
0.44	631
0.46	625
0.47	619
0.49	614
0.51	608
0.53	603
0.54	598
0.56	593
0.58	588
0.59	583
0.61	578
0.63	573
0.65	569
0.67	564
0.68	560
0.70	556

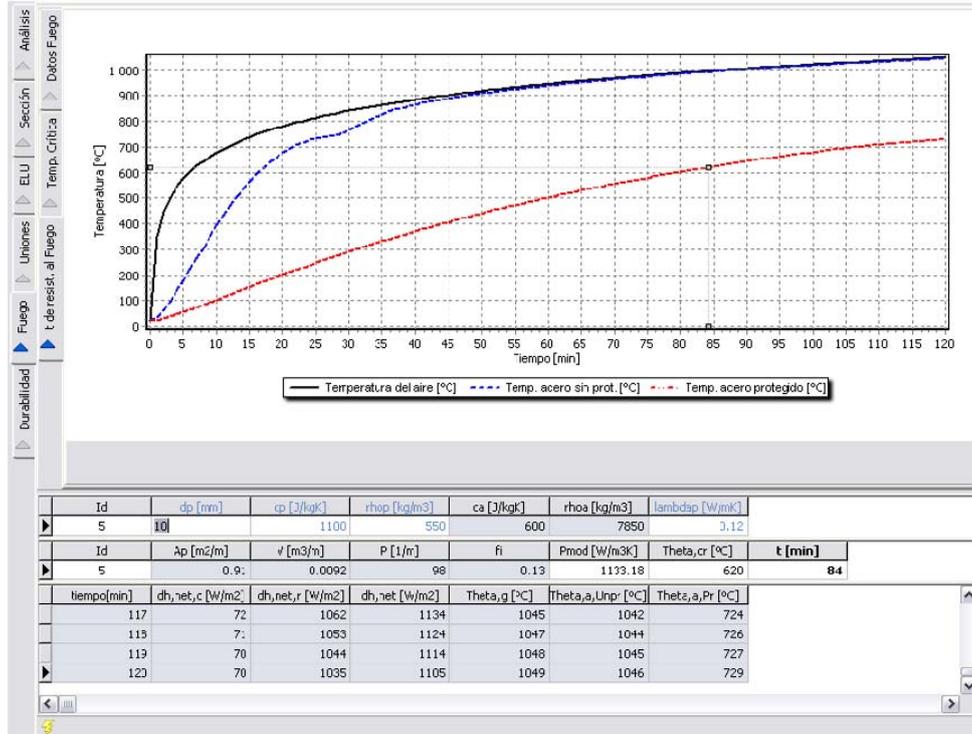
Id	dp [mm]	cp [J/kgK]	rhcp [kg/m3]	ca [J/kgK]	rhoa [kg/m3]	lambdap [W/mK]
5	15	1100	550	600	7850	0.12

Id	Ap [m2/m]	V [m3/m]	P [1/m]	fi	Pmod [W/m3K]	Theta,cr [°C]	t [min]
5	0.91	0.0092	98	0.19	740.48	620	117

tiempo [min]	dh,net,c [W/m2]	dh,net,r [W/m2]	dh,net [W/m2]	Theta,g [°C]	Theta,a,Unpr [°C]	Theta,a,Pr [°C]
117	72	1062	1134	1045	1042	619
118	71	1053	1124	1047	1044	622
119	70	1044	1114	1048	1045	625
120	70	1035	1105	1049	1046	628

Por último, en la tercera pestaña se representa la evolución en función del tiempo de la temperatura del aire, de la temperatura del acero si no está protegido y la temperatura del acero protegido según los datos definidos en la tabla inferior (espesor - d_p -, calor específico del material aislante - c_p -, densidad del material aislante - ρ_p - y conductividad térmica del

material aislante - λ_p). A partir de esta última curva y conocida la temperatura crítica, se puede calcular el tiempo que resistirá la estructura frente al fuego. Este es el principal resultado del módulo y se consigna en la tabla de resultados en negrita.



Para poder utilizar este módulo, es necesario haber abierto previamente una sección puesto que para el cálculo resulta necesario conocer el área y el perímetro de la misma.

4 EJEMPLOS

4.1 Pasarelas metálicas de conexión entre aparcamiento y Terminal 4 del aeropuerto de Madrid-Barajas

Para permitir el tráfico de viajeros entre el aparcamiento y la nueva Terminal T4 del aeropuerto de Madrid-Barajas, se diseñaron una serie de pasarelas metálicas que admiten ser analizadas, al menos parcialmente mediante las herramientas disponibles en este prontuario informático.

En la foto siguiente se muestra una vista global de algunas de estas pasarelas en distintas fases de construcción.



Se propone, en primer lugar, analizar una de las pilas en V del llamado *Pasillo Este* que es la pasarela que discurre paralela al aparcamiento.

4.1.1 Comprobación pila *Pasillo Este*

La pila en V del *Pasillo Este* tiene aproximadamente 9.00 metros de altura y ancho superior de 8.20 metros entre ejes de tubos y un ancho inferior de 1,50 m. El canto de la superestructura es de aproximadamente 4.00 metros y la luz entre pilas de 18.00 metros. Los tubos tienen 508 mm de diámetro y 20 mm de espesor. El material empleado corresponde un acero estructural de 355 MPa de límite elástico. El tubo corresponde a clase 1 puesto que:

$$\phi/e/\varepsilon=508/20/0.81=31.3 < 50 \text{ (ver Tabla 5.2 de EN 1993-1-1 [4])}.$$

La Pila en V está sometida a cargas permanentes (peso propio y carga muerta), a una sobrecarga de uso de 4 kN/m² y a la acción del viento. En la tabla siguiente se resumen los valores de las acciones considerados para hacer este ejemplo (no se trata estrictamente de los valores de proyecto sino de una aproximación, puesto que este prontuario está pensado para ser utilizado fundamentalmente a nivel de pre-dimensionamiento).

Carga	Valor
pp, acero [kN/m ²] =	1.50
pp forjado [kN/m ²] =	1.75
pp, tubos [kN/m] =	2.39
pp cm [kN/m ²] =	1.50
sc uso [kN/m ²] =	4.00
w [kN/m ²] =	1.50

Estas cargas dan lugar a reacciones verticales y horizontales en cada apoyo de la estructura sobre la pila. Los valores de estas fuerzas se muestran a continuación.

	N pila 1 [kN]	N pila 2 [kN]
pp	239.85	239.85
cm	110.70	110.70
sc , exc.	221.40	73.80
sc, centrada	295.20	295.20
w	26.34	-26.34
	H	
	[kN]	
w	-108.00	

A partir de estas fuerzas se pueden obtener los esfuerzos que actúan sobre la estructura utilizando el módulo de análisis del prontuario con la opción de pórtico trapecial . Para ello, sin embargo, es necesario obtener en primer lugar las envolventes de cargas mayoradas que hay que aplicar sobre el modelo. Se consideran 4 hipótesis:

- Sobrecarga dominante excéntrica con un 60% del viento
- Sobrecarga dominante centrada con un 60% del viento
- Viento dominante con un 60% de la sobrecarga excéntrica
- Viento dominante con un 60% de la sobrecarga centrada

Las cargas ya combinadas considerando las hipótesis anteriores son:

Hip 1 : sc, exc dominante			Nd pila 1	Nd pila 2	H
Hipótesis	γ	ψ_0	[kN]	[kN]	[kN]
pp	1.35	1.00	323.80	323.80	0.00
cm	1.35	1.00	149.45	149.45	0.00
sc , exc.	1.50	1.00	332.10	110.70	0.00
w	1.50	0.60	23.71	-23.71	-97.20
Suma			829.05	560.24	-97.20

Hip 2 : sc, centrada dominante			Nd pila 1	Nd pila 2	H
Hipótesis	γ	ψ_0	[kN]	[kN]	[kN]
pp	1.35	1.00	323.80	323.80	0.00
cm	1.35	1.00	149.45	149.45	0.00
sc, centrada	1.50	1.00	442.80	442.80	0.00
w	1.50	0.60	23.71	-23.71	-97.20
Suma			939.75	892.34	-97.20

Hip 3 : w, dominante, sc, exc			Nd pila 1	Nd pila 2	H
Hipótesis	γ	ψ_0	[kN]	[kN]	[kN]
pp	1.35	1.00	323.80	323.80	0.00
cm	1.35	1.00	149.45	149.45	0.00
sc , exc.	1.50	0.60	199.26	66.42	0.00
w	1.50	1.00	39.51	-39.51	-162.00
Suma			712.01	500.15	-162.00

Hip 4 : w, dominante, sc, centrada			Nd pila 1	Nd pila 2	H
Hipótesis	γ	ψ_0	[kN]	[kN]	[kN]
pp	1.35	1.00	323.80	323.80	0.00
cm	1.35	1.00	149.45	149.45	0.00
sc, centrada	1.50	0.60	265.68	265.68	0.00
w	1.50	1.00	39.51	-39.51	-162.00
Suma			778.43	699.41	-162.00

En el cálculo de la estructura se han introducido solamente las cargas concentradas debido a que las cargas de peso propio de los tubos son muy pequeñas.

The screenshot shows a software interface for structural analysis. At the top, there is a menu bar with options like 'Proyecto', 'Materiales', 'Sección', 'Análisis', 'ELU', 'ELS', 'Uniones', 'Fuego', 'Durabilidad', 'Configuración', and 'Ayuda'. Below the menu, there is a toolbar with icons for 'Análisis', 'Sección', 'Apoyos/Secciones', 'Cargas', 'Esfuerzos', and 'Reacciones'. The main workspace displays a 2D model of a trapezoidal frame structure with two vertical supports at the bottom and two horizontal supports at the top. Below the model is a table with the following data:

Carga nº	Fila de Barras	x [m]	Tipo Carga	P/M o q1/m1 [kN/m]	q2/m2 [kN/m]	Ángulo [°]	L [m]	Global
1	2	0	P	712.01	712.01	90	0	L
2	2	8.199	P	500.15	500.15	90	0	L
3	2	8.199	P		-162	-162	0	L

At the bottom of the interface, there is a status bar showing 'X [m] 11.944' and 'z [m] -0.620'. Below the status bar is a row of small images showing various structural models.

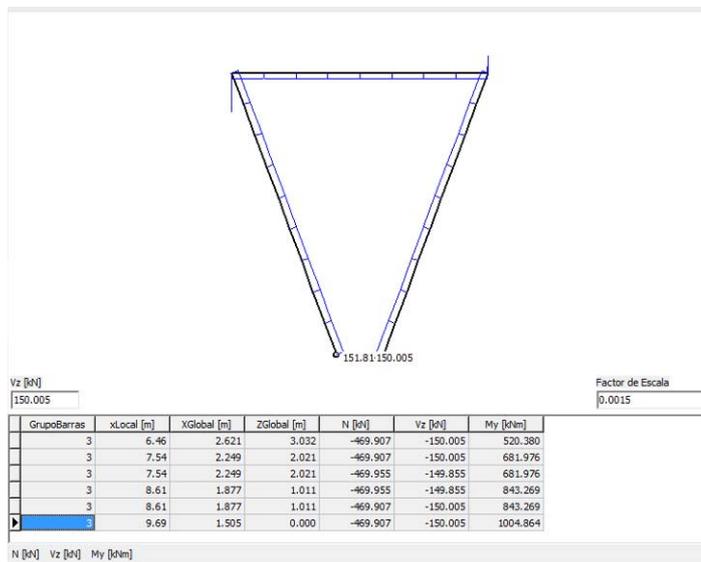
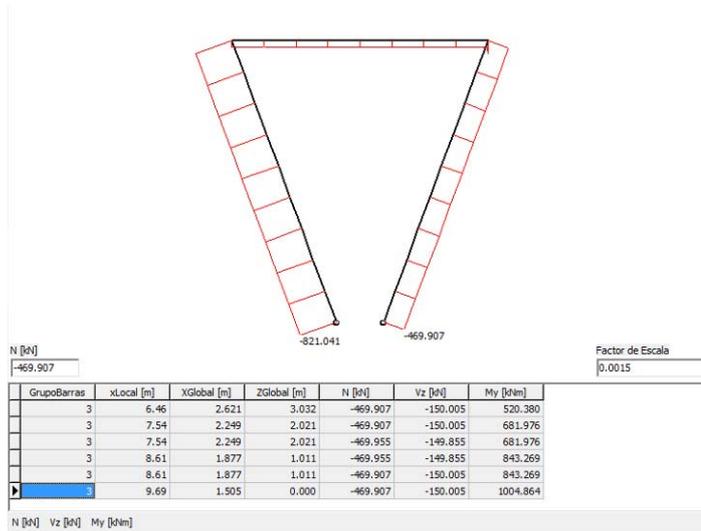
TÍTULO DEL PROYECTO: Barandas ARCHIVO: C:\Users\apc\Documents\FHECOR\BarrancoDelasBarandas\XCA\Barandas\Barandas.PIEM

A partir del cálculo de la estructura se obtienen los esfuerzos en los perfiles.

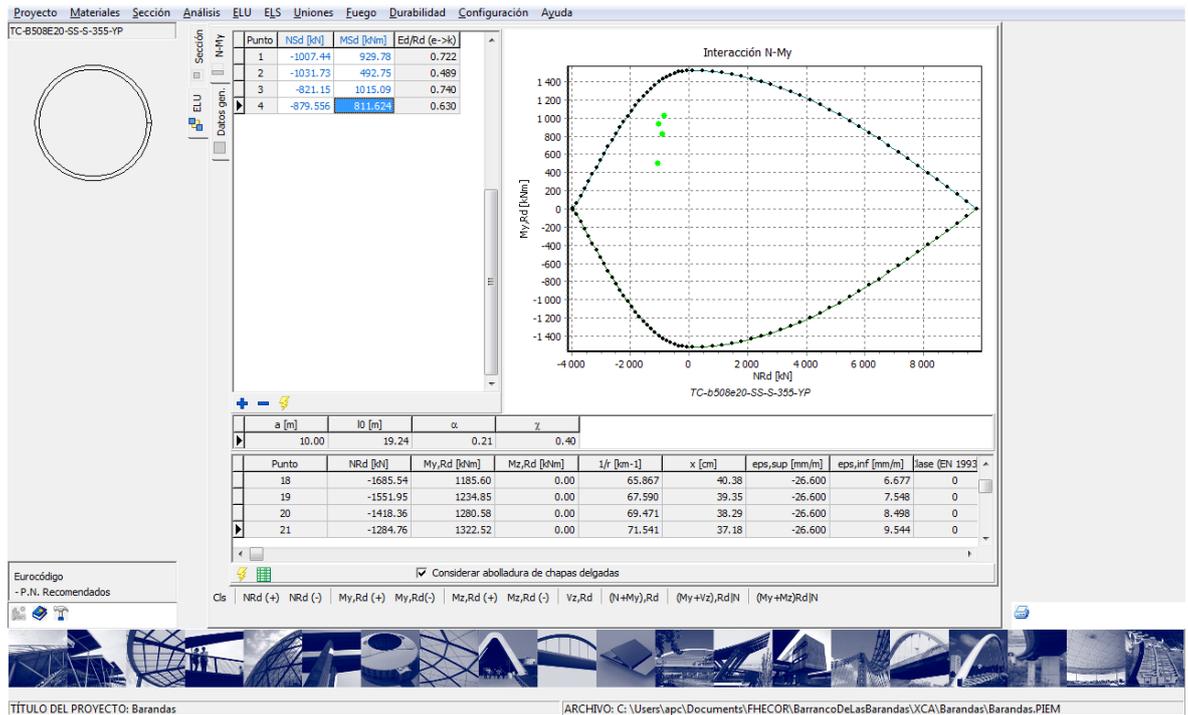
The screenshot shows a software interface for structural analysis. At the top, there is a menu bar with options like 'Proyecto', 'Materiales', 'Sección', 'Análisis', 'ELU', 'ELS', 'Uniones', 'Fuego', 'Durabilidad', 'Configuración', and 'Ayuda'. Below the menu, there is a toolbar with icons for 'Análisis', 'Sección', 'Apoyos/Secciones', 'Cargas', 'Esfuerzos', and 'Reacciones'. The main workspace displays a 2D model of a trapezoidal frame structure with internal force diagrams. Below the model is a table with the following data:

GrupoBarras	xLocal [m]	XGlobal [m]	ZGlobal [m]	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
1	0.00	0.000	0.000	-821.041	-151.814	-1015.750
1	1.08	-0.372	1.011	-821.041	-151.814	-852.206
1	1.08	-0.372	1.011	-820.992	-152.077	-852.206
1	2.15	-0.744	2.021	-820.992	-152.077	-688.521
1	2.15	-0.744	2.021	-821.041	-151.814	-688.521
1	3.23	-1.116	3.032	-821.041	-151.814	-524.977

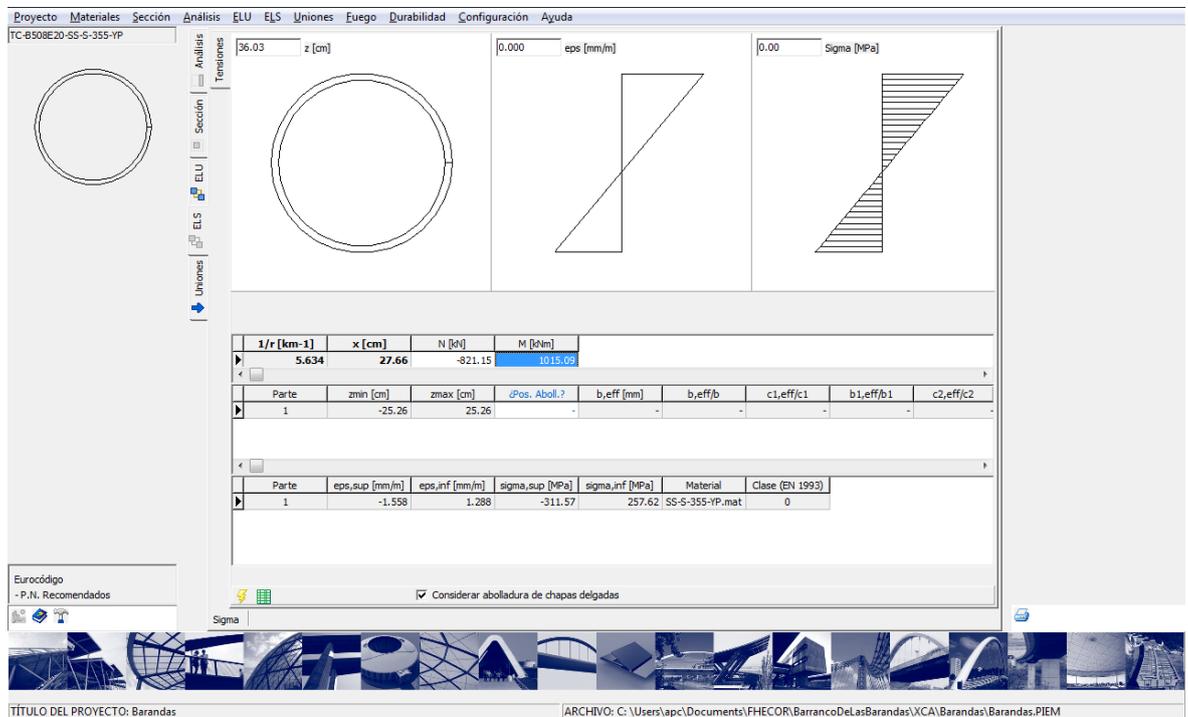
At the bottom of the interface, there is a status bar showing 'N [kN] Vz [kN] My [kNm]' and 'Factor de Escala 0.0015'.



A continuación se comprueba la interacción Axil-Momento para las cuatro hipótesis estudiadas. A efectos de esta comprobación se considera que el pórtico está libre en el sentido perpendicular a su plano y que por lo tanto los fustes del pórtico tienen una longitud de pandeo e igual a dos veces su longitud ($l_0=19.24$ m). Ello da lugar a una reducción de la capacidad a compresión del 60%. A pesar de ello se comprueba que la seguridad es adecuada. El último paso es comprobar la interacción con el cortante.



Como primer paso, se comprueba el estado de la sección para el par (N_d, M_d) que da lugar a los valores más ajustados (coeficiente de seguridad más próximo a 1.00) utilizando el módulo de ELS.



Como se puede observar, la sección se encuentra aún en buenas condiciones. A continuación se comprueba la capacidad a cortante, obteniendo un cortante último concomitante con las tensiones normales 2979 kN, muy superior a V_{Sd} .

The screenshot shows a software interface for structural analysis. At the top, there are menu options: Proyecto, Materiales, Sección, Análisis, ELU, ELS, Uniones, Fuego, Durabilidad, Configuración, Ayuda. The main window displays a circular cross-section of a tube. Below the section view, there are two tables of properties.

Vb,Rd [kN]	Vbw,Rd [kN]	Vbf,Rd [kN]	Mf,Rd [kNm]	MEd [kNm]	NEd [kN]	a [m]
2979.37	2979.37	0.00	0.00	1015.09	-821.15	10.00

Parte	Tipo	hw [mm]	tw [mm]	bf [mm]	tf [mm]	ksi,W	Material	η
1	Tubo Cr.	508.0	40.0	-	-	1	SS-S-355-YP	1.20

At the bottom, there is a status bar with the text: TÍTULO DEL PROYECTO: Barandas | ARCHIVO: C:\Users\apc\Documents\FHECOR\BarrancoDeLasBarandas\XCA\Barandas\Barandas.PIEM

4.2 Ejemplos de cálculo de una unión soldada lateral

Estos ejemplos se exponen con objeto de aclarar los criterios de cálculo (que son totalmente elásticos) adoptados para uniones soldadas. Se considera que son ejemplos útiles de cara a formar a los ingenieros más jóvenes en el cálculo de uniones cuya importancia no puede subestimarse.

4.2.1 Ejemplo 1. Soldaduras sometida a torsión exclusivamente

Se considera, por lo tanto, una soldadura sencilla compuesta por dos cordones verticales de 80 mm de longitud y 8 mm de garganta separados también una distancia de 80 mm.

Se considera que esta soldadura está sometida a un momento torsor de 10 kNm. Este momento torsor será resistido fundamentalmente por el desarrollo de dos fuerzas iguales y contrarias paralelas a la soldadura. Sin embargo, una parte del momento también será resistido mediante un trabajo de flexión de la soldadura mediante tensiones perpendiculares a su eje.

Este problema (y otros con geometrías mucho más generales) se puede abordar mediante la metodología expuesta en 3.6.2. En primer lugar se determina el momento de inercia polar respecto del centro de gravedad de las soldaduras:

$$I_x = 2 \times \frac{1}{12} \times 8^3 \times 0.8 = 68.27 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 2 \times 8 \times 0.8 \times 4^2 = 204.80 \text{ cm}^4$$

$$I_p = I_x + I_z = 273.07 \text{ cm}^4$$

La tensión será máxima en el punto más alejado del centro de gravedad de las soldaduras. Este punto corresponde a un extremo de una de las soldaduras cuya distancia a dicho centro de gravedad será $\|\vec{r}\| = \sqrt{4^2 + 4^2} = 5.66 \text{ cm}$.

Por lo tanto en la esquina de la soldadura se generará una tensión perpendicular al radio igual a

$$\sigma_{\perp,r} = \frac{M}{I_x + I_z} \|\vec{r}\| = \frac{10}{273.07} \times 5.66 \times 1000 = 207.7 \text{ MPa}$$

Esta tensión será resistida por la soldadura mediante una tensión (tangencial) paralela al eje de la soldadura, τ_{par} y una tensión perpendicular al eje de la soldadura, σ , (que a su vez se descompondrá en una tensión normal a la garganta, n , y una tensión tangencial paralela a la garganta y perpendicular al eje de la soldadura, t_{\perp}). Si θ es el ángulo que forman \vec{r} y el eje de la soldadura (que se puede obtener a partir del producto escalar de estos dos vectores), se tendrá:

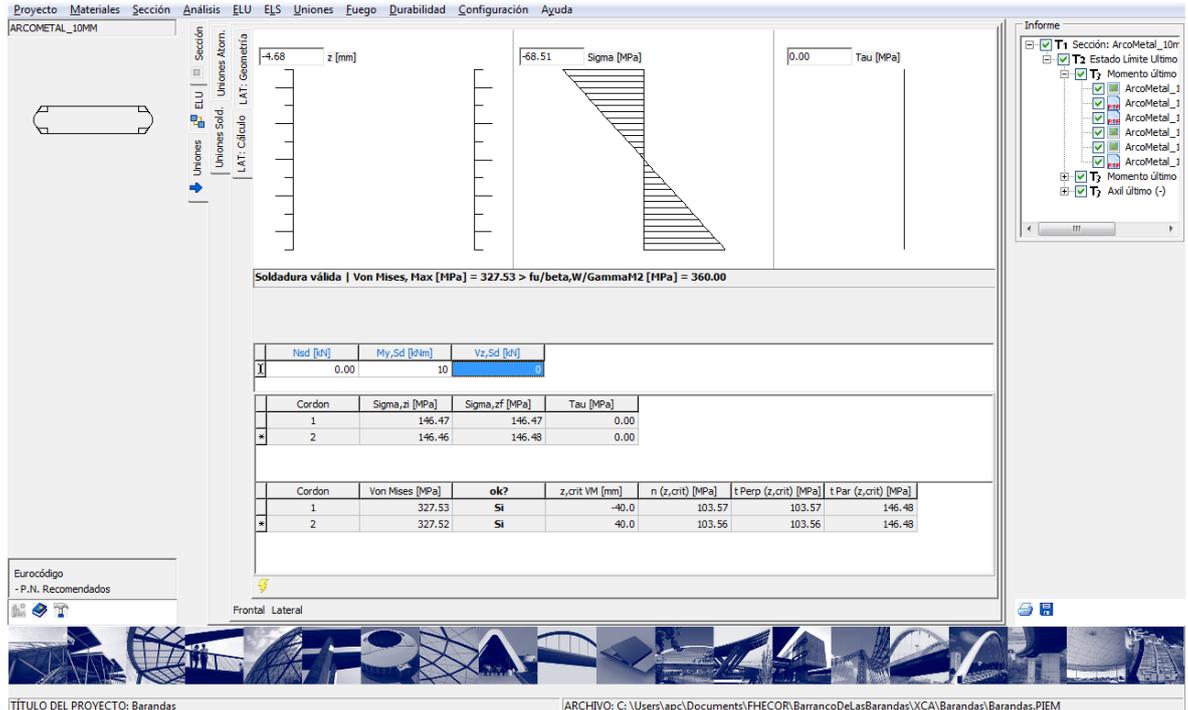
$$\sigma = \sigma_{\perp,r} \times \cos \theta = 207.7 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 146.87 \text{ MPa} \rightarrow \begin{cases} n = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} \\ t_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} \end{cases}$$

$$\tau_{par} = \sigma_{\perp,r} \times \sin \theta = 207.7 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 146.87 \text{ MPa}$$

Finalmente la tensión de comparación será:

$$\begin{aligned} \sigma_{co} &= \sqrt{n^2 + 3t_{\perp}^2 + 3\tau_{par}^2} = \sigma_{\perp} \sqrt{\frac{\cos^2 \theta}{2} + 3\frac{\cos^2 \theta}{2} + 3\sin^2 \theta} = \\ &= 207.7 \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{3}{4} + \frac{3}{2}} = 328 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Como se puede observar en la pantalla siguiente el programa proporciona este valor para la tensión de comparación.



Resulta interesante en este caso estimar qué parte del torsor se resiste por trabajo de la fuerza paralela al eje de las soldaduras y qué parte se resiste mediante flexión de las mismas.

En este caso particular, se tiene que:

$$M_{\tau_{par}} = 146.87 \times 8 \times 0.8 \times 8 \times 10^{-3} = 7.5 \text{ kN}$$

$$M_{\sigma} = 2 \times 146.87 \times \frac{1}{2} \times 4 \times 0.8 \times \frac{2}{3} \times 8 \times 10^{-3} = 2.5 \text{ kN}$$

Se cumple por lo tanto el equilibrio. Se puede observar que el trabajo de flexión (que normalmente se deprecia en los cálculos manuales y en los prontuarios, asignando toda la carga al trabajo según el eje de la soldadura) contribuye en este caso con un 25% de la fuerza total. En todo caso la suposición habitual que no tienen en cuenta este reparte es totalmente razonable, aunque no extrapolable de forma genérica.

4.2.1 Ejemplo 2. Reparto del cortante entre soldaduras horizontales y verticales

Se considera un conjunto de soldaduras formado por cuatro cordones iguales dispuestos en forma de cuadrado de 8 cm de lado y 8 mm de garganta.

Si se considera en primer lugar la acción exclusiva de un cortante de 10 kN con objeto de estudiar el reparto de esta fuerza entre los cordones. Las soldaduras deben transmitir el cortante funcionando por distorsión. Por lo tanto, el cortante se reparte proporcionalmente al

producto de canto de las soldaduras medido en la dirección del esfuerzo cortante y al área de las soldaduras. En este caso el canto de las soldaduras verticales es de 8 cm mientras que el canto de las soldaduras horizontales es de 0.8 cm. Por lo tanto, al ser iguales las áreas de las cuatro soldaduras, cada soldadura vertical se llevará $8/(16+1.6)=45.45\%$ del cortante total, mientras que las soldaduras horizontales se llevarán $0.8/(16+1.6)=4.45\%$.

De esta forma las tensiones a las que estarán sometidas las soldaduras serán:

Soldaduras verticales:

$$\tau_{par} = \frac{V_{sd}}{b_j \times e_j} \frac{(b_j \times \sin \beta_j + e_j \times \cos \beta_j)}{\sum_{i=1}^n (b_i \times \sin \beta_i + e_i \times \cos \beta_i)} = \frac{10}{8 \times 0.8} \times 0.4545 \times 10 = 7.10 \text{ MPa}$$

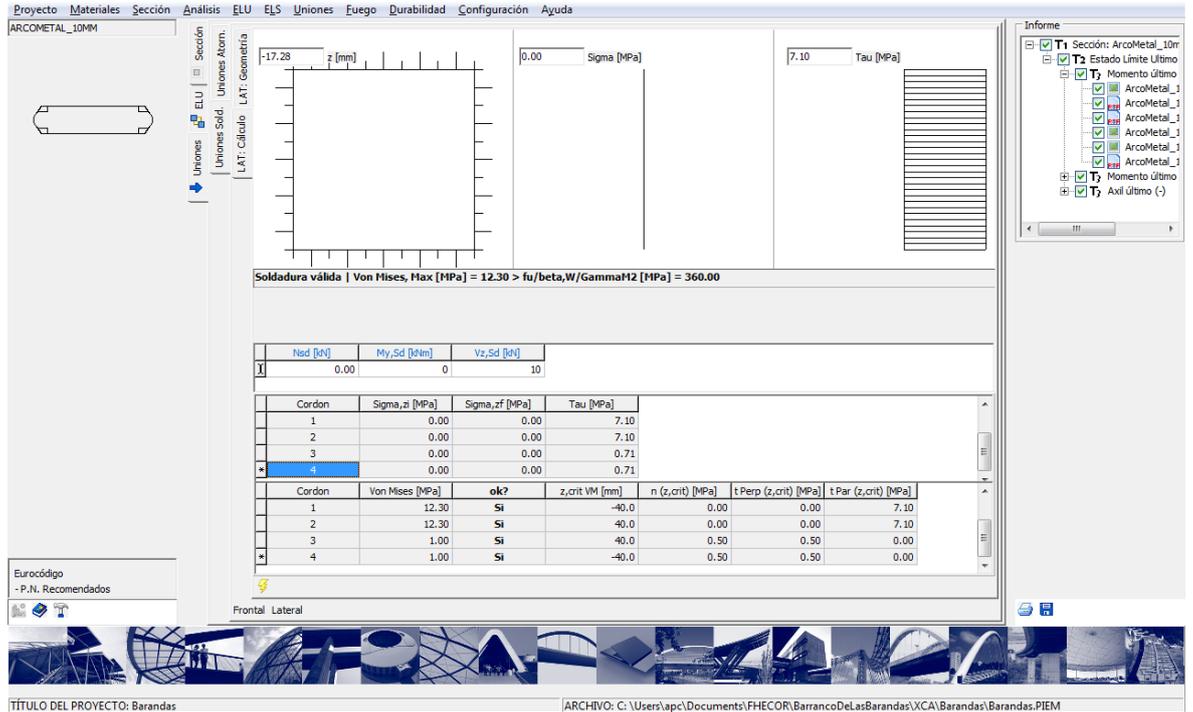
$$\sigma_{co} = \sqrt{3} \times 7.1 = 122.97 \text{ MPa}$$

Soldaduras horizontales:

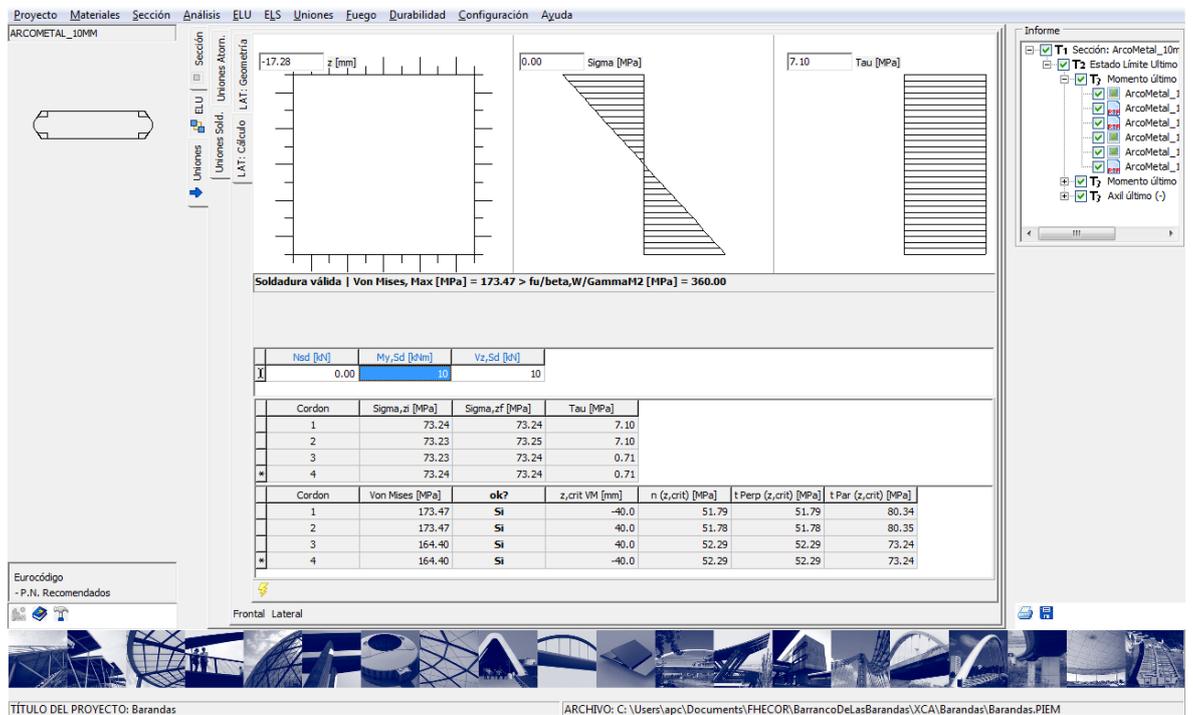
$$\sigma = \frac{V_{sd}}{b_j \times e_j} \frac{(b_j \times \sin \beta_j + e_j \times \cos \beta_j)}{\sum_{i=1}^n (b_i \times \sin \beta_i + e_i \times \cos \beta_i)} = \frac{10}{8 \times 0.8} \times 0.04545 \times 10 = 0.710 \text{ MPa} \rightarrow \begin{cases} n = \frac{0.71}{\sqrt{2}} \\ t_{\perp} = \frac{0.71}{\sqrt{2}} \end{cases}$$

$$\sigma_{co} = 0.71 \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3}{2}} = 1.00 \text{ MPa}$$

Los resultados correspondientes a este caso generados con el programa se muestran a continuación y se observan valores coincidentes con los anteriores.



Si a este caso se le añade un momento torsor de 10 kN, se suman a las tensiones debidas al cortante la mitad de las tensiones debidas al torsor del caso anterior (puesto que se duplica el número de soldaduras y cada par funciona de la misma forma frente al torsor). La pantalla de resultados correspondiente a este último caso se muestra a continuación.



5 DESARROLLOS FUTUROS

Este trabajo se planteó en un principio con dos fases, estando la primera orientada fundamentalmente a la edificación mientras que la segunda habría estado más orientada hacia los puentes. Debido a la desgraciada desaparición de APTA, a pesar de la enorme labor desarrollada, este proyecto se ha quedado en su primera fase. No obstante, a falta de encontrar nuevamente la ocasión, están previstos los siguientes desarrollos adicionales:

- Cálculo de chapas con rigidizadores longitudinales
- Diafragmas de apoyo
- Conexión hormigón-acero
- Procesos constructivos (fases de aplicación de cargas, redistribuciones de esfuerzos por el comportamiento diferido del hormigón)
- Contraflechas
- Forjados de chapa colaborante
- Fuego: método general

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Corres Peiretti, H., Martínez Martínez, J.L., Pérez Caldentey, A., López Agüí, J.C. *Prontuario Informático del Hormigón Estructural 3.0*. IECA. 2001.
- [2] CEN. EN-1991-1-2. *Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-2. General actions. Actions on structures exposed to fire*. 2002
- [3] CEN. EN-1992-1-1. *Eurocode 2. Design of concrete structures – Part 1-1. General rules and rules for buildings*. 2004
- [4] CEN. EN-1993-1-1. *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1. General rules and rules for buildings*. 2005.
- [5] CEN. EN-1993-1-2. *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2. General rules. Structural fire design*.
- [6] CEN. EN-1993-1-5. *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5. Plated structural elements*. 2003.
- [7] CEN. EN-1993-1-8. *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8. Design of Joints*. 2005.
- [8] CEN. EN-1994-1-1. *Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1. General rules and rules for buildings*. 2004.

- [9] Ministerio de la Vivienda. CTE .*Código Técnico de la Edificación. Documento Básico SE-A Seguridad estructural. Acero.* Marzo de 2006.
- [10] Ministerio de Fomento. EAE. *Instrucción de Acero Estructural.* Borrador 2008.
- [11] Ministerio de Fomento. EHE-08. *Instrucción de Hormigón Estructural.* 2008.
- [12] International Organization for Standardization. *ISO 12.944-2. Paints and varnishes -- Corrosion protection of steel structures by protective paint systems -- Part 2: Classification of environments.* 1998.
- [13] Empresa Nacional Siderúrgica, S.A. *Prontuario Ensidesa. Manual para el cálculo de estructuras metálicas. Tomo I. Valores estáticos. Resistencia de materiales, Estructuras elementales.* Cuarta edición. Mayo 1975.
- [14] Ortiz, J., Ignacio Hernando, J., Cervera, J. *Manual de Uniones atornilladas frontales pretensadas.* CatedrAcero. APTA. 2007.
- [15] Ortiz, J., Ignacio Hernando, J., Cervera, J. *Manual de Uniones atornilladas laterales.* CatedrAcero. APTA. 2009.
- [16] Navajas Ramírez, P., López Romero, A. *Protección y durabilidad de las estructuras de acero.* Publicaciones APTA. 2009.
- [17] Labein-Tecnalia, Tectum Ingeniería. *Estructuras de acero en aparcamientos subterráneos.* Publicaciones APTA. 2009.

7 NOTACIÓN

En todo este prontuario se ha procurado mantener la notación de los Eurocódigos.